



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

**Институт радиозлектроники  
и информационных  
технологий**

**А. В. АМИНЕВ**

**А. В. БЛОХИН**

# **МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

**Учебное пособие**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

**А. В. Аминев, А. В. Блохин**

# **МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Учебное пособие

*Рекомендовано методическим советом УрФУ для студентов,  
обучающихся по специальности 090106 — Информационная  
безопасность телекоммуникационных систем*

Под общей редакцией проф. А. В. Блохина

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2016

УДК 621.37

ББК 32.842

A62

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *Б. А. Панченко* (зав. каф. общепрофессиональных дисциплин Уральского технического института связи и информатики);

д-р техн. наук, проф. *Г. В. Чирков* (ООО «Прософт — Системы»)

**Аминев, А. В.**

A62 Метрология, стандартизация и сертификация в телекоммуникационных системах : учебное пособие / А. В. Аминев, А. В. Блохин. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 204 с.

ISBN 978-5-7996-1617-5

Рассмотрены основные вопросы метрологии как науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства. Приведены сведения о современных основах технического регулирования, стандартизации и сертификации. Изложение базируется на действующих в РФ нормативно-технической документации, стандартах и рекомендациях международных организаций в области метрологии.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Информационная безопасность телекоммуникационных систем». Будет полезным для студентов других специальностей: «Радиотехника», «Радиоэлектронные системы», «Средства связи с подвижными объектами», «Сети связи и системы коммутации».

Библиогр.: 10 назв. Табл. 11. Рис. 20.

Подготовлено кафедрой «Теоретические основы радиотехники»

УДК 621.37

ББК 32.842

ISBN 978-5-7996-1617-5

© Уральский федеральный университет, 2016

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Бурное развитие различных направлений в области телекоммуникационных систем невозможно без совершенствования метрологического обеспечения и измерительной аппаратуры, создания новых методов измерений и средств контроля. На всех этапах исследования, разработки, производства и эксплуатации телекоммуникационных систем работа инженера связана с большим числом измерений радиотехнических величин. Чтобы успешно справиться с многочисленными проблемами электрорадиоизмерений, студентам необходимо освоить ряд общих принципов их решения, определить единую научную и законодательную базу, обеспечивающую высокое качество измерений независимо от того, где и с какой целью они выполняются. Такой базой является метрология (от греческого «metron» — мера, «logos» — учение).

Первоначально метрология занималась описанием разного рода мер (линейных, вместимости, массы, времени) и монет, применявшихся в различных странах, а также соотношений между ними. Современная метрология опирается на физический эксперимент высокой точности, используя достижения физики, химии и других естественных наук, но вместе с тем устанавливает свои специфические законы и правила, позволяющие находить количественное выражение свойств объектов материального мира. Общая теория измерений окончательно еще не сложилась, в нее входят сведения, полученные

в результате анализа и изучения измерений и их элементов: физических величин, их единиц, средств и методов измерений, полученных результатов измерений.

Обращаем внимание на то, что стандартизация и сертификация как дисциплины, представленные в учебном пособии, также находят в РФ в последние 15–20 лет широкое применение.

В соответствии с общими требованиями к образованности специалистов, магистров и бакалавров студенты, обучающиеся по специальности 090106 — «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», должны:

- изучить основные принципы, методы и средства измерения электрических и радиотехнических величин;
- научиться правильно выбирать измерительную аппаратуру;
- уметь проводить измерения, обрабатывать их результаты и оценивать достигнутую точность;
- ознакомиться с положениями Государственной системы обеспечения единства измерений и перспективными направлениями и тенденциями развития метрологии.

В настоящее время по вопросам обеспечения единства измерений, технического регулирования, стандартизации и сертификации в РФ внедряются новые нормативные документы. Некоторые из них рассматриваются в данном учебном пособии. Также в учебном пособии рассматриваются рекомендации международных организаций в области метрологии, стандартизации и сертификации, учитывающие появляющиеся и внедряющиеся в теоретическую и прикладную метрологию новации.

В последние годы измерения почти полностью перешли на цифровые методы; существенно расширились диапазоны измеряемых величин; появилась необходимость в измерении характеристик случайных процессов. Усложнение технологии производства, развитие научных исследований привели к не-

обходимости измерения и контроля сотен и тысяч параметров одновременно. Появился новый класс информационно-измерительной техники — измерительные информационные системы, осуществляющие сбор, обработку, передачу, хранение и отображение информации. Работы в области информационно-измерительной технологии позволили в последние годы создать новый раздел теории и практики измерений — виртуальные приборы и интеллектуальные измерительные системы. Все это требует нового подхода к состоянию средств измерений, к соответствию их метрологических свойств установленным нормам.

Данное учебное пособие совместно с учебным пособием «Измерения в телекоммуникационных системах», изданным в 2015 г., содержит информативный материал, полностью методически обеспечивающий дисциплину «Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах» для студентов, обучающихся по специальности 090106 — «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

# ГЛАВА 1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

---

## 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Развитие новых направлений телекоммуникационных систем (ТКС) невозможно без совершенствования метрологического обеспечения и измерительной аппаратуры, создания новых методов измерений и средств контроля. На всех этапах исследования, разработки, производства и эксплуатации устройств ТКС работа специалистов связана с большим числом измерений различных физических величин. От того, насколько правильно и быстро проводятся измерения, зависят сроки разработки, качественные показатели и надежность аппаратуры, а также затраты на ее создание и использование.

В теории и практике измерений в области телекоммуникаций характерны следующие особенности:

- широкий диапазон измеряемых физических величин, например: по мощности — от долей микроватт до сотен киловатт, по напряжению — от долей микровольт до сотен тысяч вольт, по частоте — от  $10^{-2}$  Гц до  $3 \cdot 10^{12}$  Гц и более, по величине сопротивления — от  $10^{-6}$  Ом до  $10^{12}$  Ом и т. д.;

- так как основной объект исследования в устройствах ТКС — электрический сигнал — является носителем используемой информации, возникает необходимость наблюдения формы и спектра электрических колебаний, а также генери-

рования их копий и образцов. Этим вызвано широкое применение в практике измерений приборов для наблюдения и регистрации колебаний (осциллографов, анализаторов спектра) и источников электрических колебаний (измерительных генераторов);

— ввиду сложности структуры современных ТКС и большого количества всевозможных параметров, описывающих их работу, характерно разнообразие измерений даже в одном эксперименте, необходимость комплексного их проведения, быстрдействие, точность, а следовательно, автоматизация измерений.

Чтобы успешно справиться с многочисленными и разнообразными проблемами измерений, необходимо освоить ряд общих принципов их решения, определить единую научную и законодательную базу, обеспечивающую на практике высокое качество измерений независимо от того, где и с какой целью они выполняются. Такой базой является метрология.

Согласно международным Рекомендациям РМГ 29—99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения», метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Метрология включает общую теорию измерений физических величин, устанавливает и регламентирует единицы физических величин и их системы, порядок передачи размеров единиц от эталонов единиц величин образцовым и рабочим средствам измерений, методы и средства измерений, общие методы обработки результатов измерений и оценки их точности.

Предмет метрологии — измерения, их единство и точность. Метрология включает в себя методы выполнения практически всех измерительных работ на производстве, а также их теоретические и правовые основы.

Основной целью метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с за-



данной точностью и достоверностью.

Средства метрологии — совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное использование.

Основными задачами метрологии являются:

- обеспечение единства измерений (состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью);
- установление единиц физических величин;
- обеспечение единообразия средств измерений;
- установление национальных (государственных) эталонов и рабочих средств измерений, контроля и испытаний, а также передачи размеров единиц от эталонов или рабочих эталонов рабочим средствам измерений;
- установление номенклатуры, методов нормирования, оценки и контроля показателей точности результатов измерений и метрологических характеристик средств измерений;
- разработка оптимальных принципов, приемов и способов обработки результатов измерений и методов оценки погрешностей.

Современная метрология развивается по нескольким направлениям. Наиболее сформированы три взаимосвязанные ее ветви: теоретическая (научная), законодательная (правовая) и прикладная (практическая).

Теоретическая метрология главным образом связана с разработкой и изучением фундаментальных вопросов теории измерений. Занимается изучением проблем измерений в целом, а также образующих измерения элементов и составляющих: средств измерений, физических величин и их единиц, методов и методик измерений, результатов измерений и погрешностей измерений.

Законодательная метрология устанавливает обязательные технические и юридические требования по применению еди-

ниц физических величин, эталонов, видов, методов, методик и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимой точности измерений. Исходными документами законодательной метрологии являются Федеральные законы РФ «Об обеспечении единства измерений» и «О техническом регулировании».

Прикладная метрология связана с изучением вопросов практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии. Из прикладной метрологии для нужд телекоммуникаций выделяют технические измерения. В настоящее время к техническим измерениям, рассматриваемым во взаимной связи с точностью в ТКС, в основном относят измерения различных электрических величин.

Кроме того, в настоящее время широкое применение в метрологии получила квалиметрия — учение о методах и приемах измерения (точнее, оценивания) качества. Методологическая общность классической метрологии и квалиметрии делает обоснованным изложение ряда элементов квалиметрии в рамках данного учебного пособия.

## 1.2. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

### 1.2.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Любой объект, явление или процесс окружающего мира характеризуется своими свойствами. Для количественного описания различных свойств объектов, явлений и процессов используется понятие величины.

Величина — свойство объекта, явления или процесса, которое может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно.

Физическая величина — свойство, общее в качественном отношении для множества объектов, физических систем, их

состояний и происходящих в них процессов, но индивидуальное в количественном отношении для каждого из них.

Физические величины делят на измеряемые и оцениваемые. Измеряемые физические величины можно выразить количественно, определенным числом установленных единиц измерения. Единица физической величины — физическая величина, которой по определению присвоено стандартное числовое значение, равное 1. Для оцениваемых физических величин по каким-либо причинам нельзя ввести единицу измерения, их можно лишь оценить. Оценивание — операция приписывания данной физической величине определенного числа принятых для нее единиц, проведенная по установленным правилам.

Размер физической величины — количественная определенность величины, присущая конкретному предмету, системе, явлению или процессу.

Значение физической величины — оценка размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц измерения. Числовое значение физической величины — отвлеченное число, выражающее отношение значения физической величины к соответствующей единице данной физической величины (например, 15 А — значение силы электрического тока, причем число «15» и есть числовое значение). Именно термин «значение» следует принимать для выражения количественной стороны рассматриваемого свойства.

По видам явлений физические величины делят на следующие группы:

— энергетические (активные), т. е. физические величины, описывающие энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и использования энергии (ток, напряжение, мощность, энергия, заряд), их можно преобразовывать в сигналы измерительной информации без использования вспомогательных источников энергии;

- вещественные (пассивные), описывающие физические и физико-химические свойства веществ, материалов и изделий из них (сопротивление, емкость, индуктивность и т. д.), для их измерения необходим вспомогательный источник энергии, с помощью которого формируется сигнал измерительной информации;
- характеризующие временные процессы (импульсные и переходные характеристики, корреляционные функции и др.).

По степени условной независимости от других величин физические величины бывают основными, производными и дополнительными. Основными называют единицы физических величин, которые определяются независимо от других физических величин. Остальные физические величины — производные, и их определяют с использованием физических законов и зависимостей через основные единицы.

В настоящее время в наиболее распространенной Международной системе СИ используют семь основных физических величин: длина, время, масса, температура, сила электрического тока, сила света и количество вещества. Более подробно деление физических величин по признаку независимости будет дано далее.

По наличию размерности физические величины делят на размерные и безразмерные величины. Размерность ( $\dim$ ) физической величины — это выражение, показывающее связь данной величины с физическими величинами, положенными в основу системы единиц. Размерность записывается в виде произведения символов соответствующих основных величин с коэффициентом пропорциональности, равным единице, возведенных в определенные степени, которые называются показателями размерности. Размерность основных величин равна единице, т. е. размерность длины  $\dim l = L$ , размерность массы  $\dim m = M$  и т. д.

Конкретная размерность производных величин определяется на основании уравнений физики. Например, мощность

$P$  — физическая величина, определяемая как скорость совершения работы  $A$  за интервал времени  $t$ :  $P = dA/dt$ . Принимая во внимание, что работа  $A = Fdl$ , а сила  $F = ma$ , и учитывая, что  $a = dV/dt = d^2l/dt^2$ , где  $V$  — скорость, получаем

$$P = \frac{ml^2}{t^3}$$

и, соответственно, размерность мощности  $\dim P = ML^2T^{-3}$ .

Физическая величина называется безразмерной (относительной), если в ее размерность входят основные величины в степени с показателем, равным нулю. Безразмерные величины представляют собой отношение данной физической величины к одноименной, принимаемой в качестве исходной (например, коэффициент трансформации).

Для обозначения частных особенностей физических величин применяют термин «параметр». Например, конденсатор характеризуют таким параметром, как емкость, резистор — сопротивлением и т. д.

При выбранной оценке физической величины ее можно охарактеризовать истинным, действительным и измеренным значениями.

Истинным значением физической величины называется значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Нахождение истинного значения измеряемой физической величины является главной проблемой метрологии. Одними из главных постулатов метрологии являются:

- истинное значение определяемой физической величины существует, и оно постоянно;
- истинное значение измеряемой физической величины определить путем измерения невозможно.

Определить истинное значение физической величины экспериментально невозможно вследствие неизбежных погрешностей измерения. Погрешность — это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

В связи с тем, что истинное значение физической величины определить невозможно, в практике измерений оперируют понятием действительного значения, степень приближения которого к первому зависит от точности измерительного средства и погрешности самих измерений.

Действительным значением физической величины называется значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него. Для действительного значения физической величины всегда можно указать границы более или менее узкой зоны, в пределах которой с заданной вероятностью находится истинное значение физической величины. Действительное значение физической величины определяют по образцовым мерам и приборам, погрешностями которых можно пренебречь по сравнению с погрешностями применяемых средств измерения.

Под измеренным значением понимается значение величины, отсчитанное по отсчетному устройству средства измерения.

Приведем еще ряд терминов, используемых в метрологии и относящихся к понятию «физическая величина».

Влияющая физическая величина — физическая величина, непосредственно не измеряемая средством измерения, но оказывающая влияние на него или на объект измерения таким образом, что это приводит к искажению результата измерения. Так, например, при измерении параметров транзистора влияющей величиной может быть температура, если эти параметры зависят от температуры.

Постоянная физическая величина — физическая величина, размер которой по условиям измерительной задачи можно считать не изменяющимся за время, превышающее длительность

измерения. При измерении постоянной физической величины достаточно измерить одно ее мгновенное значение.

Переменная физическая величина — физическая величина, изменяющаяся по размеру в процессе измерения. Переменные во времени физические величины могут иметь квазидетерминированный или случайный характер изменения. Квазидетерминированная физическая величина изменяется во времени по известному закону, размер случайной физической величины изменяется во времени случайным образом.

### 1.2.2. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

Для обеспечения единства измерений единицы физических величин устанавливают по определенным правилам и закрепляют законодательным путем, т. е. объединяют в системы единиц физических величин.

Система единиц физических величин — это совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами.

Международная система единиц (*SI* — франц. *Système International*, СИ) была принята XI Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960 г.

В основу системы *SI* положены семь основных и две дополнительные физические единицы (табл. 1.1). Основные единицы: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль и кандела.

Метр равен расстоянию, проходимому светом в вакууме за  $1/299792458$  долю секунды.

Килограмм — единица массы, равная массе международного прототипа килограмма, представляющего цилиндр из сплава платины и иридия.

Секунда равна  $9192631770$  периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Ампер — сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум нормальным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным на расстоянии 1 м друг от друга в вакууме, вызывает между проводниками силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н на каждый метр длины.

Кельвин — единица термодинамической температуры, равная  $1/273,16$  термодинамической температуры тройной точки кипения воды.

Моль — количество вещества, содержащего столько структурных элементов, сколько содержится в углероде-12 массой 0,012 кг.

Кандела — сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, чья энергетическая сила излучения в этом направлении составляет  $1/683$  Вт/ср.

Таблица 1.1

Основные единицы Международной системы *SI*

Наименование	Единицы			
	Размер- ность	Наименование единиц	Обозначение	
			Между- народное	Русское
Основные				
Длина	$L$	метр	$m$	м
Масса	$M$	килограмм	$kg$	кг
Время	$T$	секунда	$s$	с
Сила электри- ческого тока	$I$	ампер	$A$	А
Температура	$\Theta$	кельвин	$K$	К
Количество вещества	$N$	моль	$mol$	моль
Сила света	$J$	кандела	$cd$	кд
Дополнительные				
Плоский угол	—	радиан	$rad$	рад
Телесный угол	—	стерадиан	$sr$	ср



К дополнительным физическим величинам системы *SI* относят плоский и телесный углы. Радиан (рад) — угол между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу. Стерadian (ср) — телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на ее поверхности площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Производные единицы системы *SI* образуют из основных и дополнительных единиц. В табл. 1.2 приведены производные единицы системы *SI*, наиболее употребляемые в ТКС.

В области измерений электрических и магнитных величин имеется одна основная единица — ампер (А). Через ампер и единицу мощности — ватт (Вт), единую для электрических, магнитных, механических и тепловых величин, можно определить все остальные электрические и магнитные единицы. Однако на сегодняшний день нет достаточно точных средств воспроизведения ватта абсолютными методами. Поэтому электрические и магнитные единицы в системе *SI* основываются на единицах силы тока и производной от ампера единицы электрической емкости — фарада.

Таблица 1.2

Производные единицы системы *SI*

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			Международное	Русское
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Частота	$T^{-1}$	герц	<i>Hz</i>	Гц
Энергия, работа	$L^2MT^{-2}$	джоуль	<i>J</i>	Дж
Сила, вес	$LMT^{-2}$	ньютон	<i>N</i>	Н

Окончание табл. 1.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Мощность, поток энергии	$L^2MT^{-3}$	ватт	$W$	Вт
Количество электричества	$TI$	кулон	$C$	Кл
Электрическое напряжение, потенциал, ЭДС	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	$V$	В
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	$F$	Ф
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	$\Omega$	Ом
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	$S$	См
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	$T$	Тл
Поток магнитной индукции	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	$Wb$	Вб
Индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	$H$	Гн

На практике применение целых единиц не всегда удобно, так как в результате измерений получают очень большие или очень малые их значения. Поэтому в системе *SI* установлены ее десятичные кратные и дольные единицы, которые образуются с помощью множителей. Кратная единица физической величины — единица, большая в целое число раз системной. Дольная единица физической величины — единица, меньшая в целое число раз системной единицы. Наименования кратных и дольных единиц системы *SI* содержат ряд определенных приставок, соответствующих множителям, приведенным в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Кратные и дольные единицы системы *SI*

Множитель	Приставка	Обозначение	
		международное	русское
$10^{18}$	экса	<i>E</i>	э
$10^{15}$	пета	<i>P</i>	п
$10^{12}$	терра	<i>T</i>	т
$10^9$	гига	<i>G</i>	Г
$10^6$	мега	<i>M</i>	М
$10^3$	кило	<i>k</i>	к
$10^2$	гекто	<i>h</i>	г
$10^1$	дека	<i>da</i>	Да
$10^{-1}$	деци	<i>d</i>	Д
$10^{-2}$	санتي	<i>c</i>	с
$10^{-3}$	милли	<i>m</i>	м
$10^{-6}$	микро	$\mu$	мк
$10^{-9}$	нано	<i>n</i>	н
$10^{-12}$	пико	<i>p</i>	п
$10^{-15}$	фемто	<i>f</i>	ф
$10^{-18}$	атто	<i>a</i>	а

Единицы физических величин делят на системные и внесистемные. Системная единица — единица физической величины, входящая в одну из принятых систем. Все основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными. Внесистемная единица — единица физической величины, не входящая в принятые системы единиц. Внесистемные единицы делят на: допускаемы наравне с единицами системы *SI*; допускаемые к применению в специальных областях; временно допускаемые и устаревшие. Среди получивших широкое распространение внесистемных единиц следует отметить киловатт-час, градус Цельсия и некоторые другие.

### 1.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ, ВИДЫ, МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерением называется процесс сравнения измеряемой физической величины экспериментальным путем с величиной того же рода, принятой условно за единицу измерения. Процессы измерений в ТКС всегда связаны с использованием специальных технических средств. Таким образом, измерение представляет собой специфический информационный процесс, результатом которого является получение количественной информации об измеряемых величинах — измерительной информации.

Зачастую информация об объекте измерения известна до проведения исследований, что является важнейшим фактором, обуславливающим эффективность измерения. Такую информацию об объекте измерения называют априорной информацией. При полном отсутствии этой информации измерение в принципе невозможно, так как неизвестно, что же необходимо измерить, а следовательно, нельзя выбрать нужные средства измерений.

При определении значения интересующей нас физической величины результат измерения может быть представлен в виде аналитического соотношения, известного как основное уравнение метрологии:

$$X = kX_0, \quad (1.1)$$

где  $X$  — значение измеряемой физической величины;

$X_0$  — значение величины, принятой за образец;

$k$  — отношение измеряемой величины и образца.

Например, за единицу измерения напряжения  $U$  электрического тока принят один вольт [1 В]. Тогда значение напряжения бытовой электрической сети  $U = kU_0 = 220 \cdot [1 \text{ В}] = 220 \text{ В}$ , т. е. числовое значение измеряемого напряжения равно 220.

Если же в качестве единицы напряжения  $U$  принять один киловольт [1 кВ] и учесть, что  $1 \text{ В} = 10^{-3} \text{ кВ}$ , то напряжение в нашем случае составит  $U = kU_0 = 220 \cdot [10^{-3} \text{ кВ}] = 0,22 \text{ кВ}$ , т. е. числовое значение измеряемого напряжения равно 0,22.

Наиболее удобен вид основного уравнения метрологии (1.1), если выбранная за образец величина равна единице, при этом параметр  $k$  представляет собой числовое значение измеряемой величины.

### 1.3.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения как экспериментальные процедуры определения значений измеряемых величин весьма разнообразны, что объясняется множеством измеряемых величин, различным характером их изменения во времени, различными требованиями к точности измерений и т. д. В связи с этим перечень характеристик измерений достаточно обширный. Некоторые из основных характеристик измерений приведены ниже.

Процесс измерения включает в себя следующие основные составляющие:

- объект измерения;
- измеряемая величина;
- результат измерения;
- погрешность измерения;
- средство измерения;
- принцип измерения;
- метод измерения;
- условия измерения;
- субъект измерения (человек, выполняющий измерения).

Объект измерения — это реальный физический объект, свойства которого характеризуются одной или несколькими измеряемыми физическими величинами. Он обладает многими свойствами и находится в сложных и многосторонних свя-

зях с другими объектами. Поэтому в теоретической метрологии введено понятие математической модели объекта. Математическая модель объекта — совокупность математических символов (образов) и отношений между ними, которая адекватно описывает свойства объекта измерения.

Важными характеристиками измерений являются результат и погрешность.

Результат измерения физической величины — значение физической величины, полученное путем ее измерения.

Часто в полученный результат измерения вносится поправка. Поправка — значение физической величины, одноименной с измеряемой, которая вводится в результат измерения для исключения определенных составляющих погрешности. Соответственно:

- неисправленный результат измерения — измеренное значение физической величины, полученное до внесения поправок;
- исправленный результат измерения — измеренное значение физической величины, уточненное путем внесения в него необходимых поправок.

Как бы тщательно ни проводилось измерение, его результат будет содержать некоторую неточность, которая характеризуется погрешностью. Погрешность измерения — это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Качество измерений характеризуется точностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью, достоверностью.

Точность результата измерений — характеристика измерений, отражающая близость к нулю погрешности результата измерений. Высокая точность измерения соответствует малым погрешностям. По точности измерения делят на три группы:

- измерения максимально возможной точности;
- контрольно-поверочные и лабораторные измерения;
- технические измерения.

Правильность измерений — это метрологическая характеристика, отражающая близость к нулю так называемых систематических погрешностей результатов измерений.

Сходимость результата измерений характеризует качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполняемых повторно одними и теми же методами и средствами измерений и в одних и тех же условиях.

Воспроизводимость результатов измерений — характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же физической величины, полученных в разных местах, разными методами и средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям (температура, давление и т. д.).

Достоверность отражает доверие к результатам измерений и определяется доверительной вероятностью  $P_d$  того, что истинное значение измеряемой величины  $x_{\text{и}}$  находится в некотором заданном интервале. Этот интервал называют доверительным, и между его границами с заданной доверительной вероятностью

$$P_d(x_{\text{н}} \leq x_{\text{и}} \leq x_{\text{в}}) = 1 - q \quad (1.2)$$

находится истинное значение  $x_{\text{и}}$  оцениваемого параметра. В (1.2) параметр  $q$  — уровень значимости ошибки, а  $x_{\text{н}}$  и  $x_{\text{в}}$  — нижняя и верхняя границы доверительного интервала.

В зависимости от того, насколько известны вероятностные характеристики отклонений от действительного значения измеряемых величин, измерения делят на достоверные и недостоверные. Результаты измерений, достоверность которых неизвестна, не представляют ценности и в ряде случаев могут служить источником дезинформации.

Принцип измерений — совокупность физических принципов, на которых основаны измерения, например применение эффекта Холла для измерения мощности.

Метод измерений — совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Это достаточно общее определение на практике часто конкретизируют, относя его только к применяемым средствам измерения, например метод измерения частоты частотомером, напряжения — вольтметром, силы тока — амперметром и т. д.

Понятие «метод измерения» следует отличать от методики измерения — намеченного распорядка измерений, определяющего состав применяемых приборов, последовательность и правила проведения операций.

В технической литературе и нормативной документации часто встречается термин «алгоритм измерения», под которым следует понимать точное предписание о порядке выполнения операций, обеспечивающих измерение искомого значения физической величины.

Общие принципы классификации измерений позволяют использовать и другие их методы представления. Так, по способу преобразования измеряемой величины и форме представления результата измерения делятся на аналоговые (непрерывные) и цифровые (дискретные).

При аналоговых измерениях измерительный прибор производит непрерывное преобразование измеряемой величины, результатом которого является перемещение указателя относительно шкалы, луча осциллографа по экрану и т. д. Заключение о численном значении величины делает оператор. Точность измерения при этом обычно не превышает 0,05 %.

При цифровых измерениях сравнение физической величины с рядом образцовых значений производится в приборе автоматически, оператор же получает численное значение измеренной величины в цифровой форме. Современные цифровые приборы, как правило, обеспечивают более высокую точность, чем аналоговые.



### 1.3.2. ШКАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ

На практике необходимо проводить измерения различных физических величин, характеризующих свойства веществ, тел, явлений и процессов. Некоторые свойства проявляются только количественно, другие — качественно. Количественные или качественные проявления любого свойства отражаются множествами, которые образуют шкалы измерения этих свойств (не следует отождествлять с понятием «шкала отсчетного устройства средства измерений»).

Шкала измерений количественного свойства является шкалой физической величины. Шкала физической величины — это упорядоченная последовательность значений физической величины, принятая на основании результатов точных измерений.

В соответствии с логической структурой проявления свойств, шкалы измерений делятся на пять основных типов: наименований, порядка, интервалов, отношений и абсолютные шкалы.

Шкала наименований (шкала классификации) основана на приписывании объекту цифр (знаков), играющих роль простых имен. Данное приписывание цифр выполняет на практике ту же функцию, что и наименование. Например, шкала обозначений элементов принципиальной схемы радиоэлектронных изделий (спецификация). Поэтому с цифрами, используемыми только как специфические имена, нельзя проводить никаких арифметических действий. Если, например, один из резисторов обозначен в электрической схеме  $R_1$ , а другой —  $R_2$ , то из этого нельзя сделать вывод, что значения их сопротивлений отличаются вдвое, а можно лишь установить, что оба они относятся к классу резисторов.

Так как эти шкалы характеризуются только отношениями эквивалентности, то в них отсутствуют понятия «больше» нуля или «меньше» и единицы измерения.

Шкала порядка (шкала рангов) предполагает упорядочение объектов относительно какого-то определенного их свойства, т. е. расположение их в порядке убывания или возрастания данного свойства. Полученный при этом упорядоченный ряд называют ранжированным рядом, а саму процедуру — ранжированием. Ранжированный ряд может дать ответ на вопросы типа «что больше/меньше» или «что лучше/хуже». Более подробную информацию — насколько больше или меньше, во сколько раз лучше или хуже — шкала порядка дать не может.

По шкале порядка сравниваются между собой однородные объекты, у которых значения интересующих нас свойств неизвестны. Результаты оценивания по шкале порядка также не могут подвергаться никаким арифметическим действиям.

Широкое распространение получили шкалы порядка с нанесенными на них реперными точками. Для этого, расположив объекты в порядке возрастания (убывания) того или иного свойства, некоторые точки ранжированного ряда фиксируют в качестве отправных (реперных). Совокупность реперных точек образует шкалу возможных проявлений соответствующего свойства. Реперным точкам могут быть поставлены в соответствие цифры, называемые баллами, и, таким образом, появляется возможность оценивания «измерения» данного свойства в баллах, по натуральной шкале. По натуральным шкалам до сих пор оценивают интенсивность землетрясений, морское волнение, твердость минералов и некоторые другие величины.

Шкала интервалов (шкала разностей) является дальнейшим развитием шкал порядка. На шкале интервалов откладывается разность значений физической величины, сами же значения остаются неизвестными. Данная шкала состоит из одинаковых интервалов, имеет единицу измерения и произвольно выбранное начало — нулевую точку. На шкале интервалов определены действия сложения и вычитания интервалов. К таким шкалам относятся, например, температурные шкалы Цельсия, Фаренгейта и Реомюра. На наи-

более привычной для нас температурной шкале Цельсия за начало отсчета разности температур принята температура таяния льда. Для удобства пользования шкалой Цельсия интервал между температурой таяния льда и температурой кипения воды разделен на 100 равных интервалов — градусов. Шкала Цельсия распространяется как в сторону отрицательных, так и положительных интервалов.

Деление шкалы интервалов на равные части устанавливает единицу физической величины, что позволяет не только выразить результат измерения в числовой мере, но и оценить погрешность измерения.

Шкалы отношений представляют собой интервальные шкалы с естественным началом отсчета. В шкалах отношений существуют однозначный естественный критерий нулевого количественного проявления свойства и единица измерений, установленная по соглашению. Если, например, за начало температурной шкалы принять абсолютный нуль, то по такой шкале уже можно отсчитывать абсолютное значение температуры и определять не только, на сколько температура  $T_1$  одного тела больше (меньше) температуры  $T_2$  другого, но и во сколько раз больше или (меньше) по правилу:  $T_1/T_2 = k$ . Таким образом, шкала отношений описывается уравнением вида (1.1). К значениям, полученным по этой шкале, применимы все арифметические действия.

Построение шкалы отношений возможно не всегда. Например, время можно измерять только по шкале интервалов.

Под абсолютными шкалами понимают шкалы, обладающие всеми признаками шкал отношений, но дополнительно имеющие естественное однозначное определение единицы измерения и не зависящие от принятой системы единиц измерения. Такие шкалы соответствуют относительным величинам: коэффициенту усиления, ослабления и т. д.

Шкалы наименований, порядка и абсолютные могут быть реализованы без специальных эталонов, а большинство шкал разностей и отношений реализуют посредством специальных эталонов.

### 1.3.3. Виды измерений

Виды измерений определяются физическим характером измеряемой физической величины, требуемой точностью измерений, необходимой скоростью измерений, условиями и режимом измерений и т. д. Классификация видов измерений по основным классификационным признакам представлена на рис. 1.1.

Дадим краткую характеристику некоторым видам измерений.

Наиболее близкими к области ТКС являются следующие виды измеряемых величин: энергетические и силовые величины сигналов; параметры элементов радиотехнических устройств, параметры электромагнитных полей, параметры модулированных сигналов и др.

Широко применяется классификация по способам нахождения результатов измерений, согласно которой измерения делятся на прямые, косвенные, совместные и совокупные.

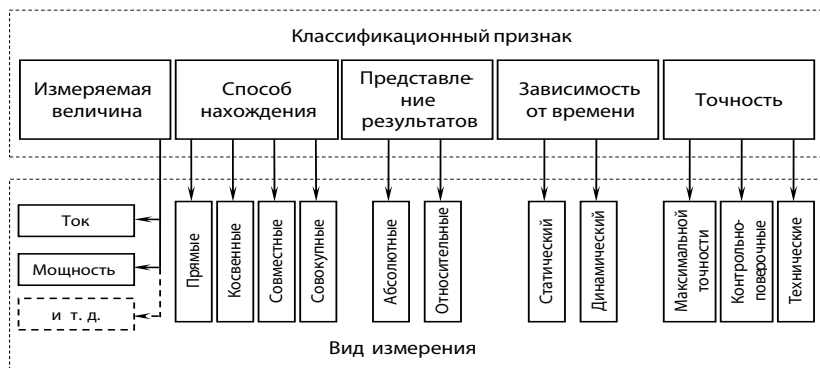


Рис. 1.1. Классификация видов измерений

Прямым называется измерение, когда искомое значение физической величины находится непосредственно из опытных данных, т. е. по показаниям средств измерений. Часто под

прямыми измерениями понимаются такие измерения, при которых не производится промежуточных преобразований. Это, например, измерение напряжения и силы тока известными электроизмерительными приборами — вольтметрами и амперметрами. Прямые измерения достаточно распространены в области ТКС.

Косвенным называется измерение, при котором искомое значение измеряемой величины находят на основании известной функциональной зависимости между этой величиной и величинами, полученными прямыми измерениями. Результат косвенного измерения определяется из выражения  $Y=f(X_1, X_2, \dots X_n)$ , где  $X_1, X_2, \dots X_n$  — результаты прямых измерений величин, связанных известной функциональной зависимостью  $f$  с искомым значением измеряемой величины  $Y$ . Простейшим примером косвенного измерения является измерение электрического сопротивления резистора  $R$  по измеренным значениям напряжения  $U$  и тока  $I$ , полученных методом прямого измерения, с использованием известной зависимости  $R=U/I$ .

Из косвенных измерений выделяют совокупные и совместные, при которых значения нескольких физических величин определяются на основе прямых или косвенных измерений других физических величин. Совместные измерения характеризуются тем, что одновременно проводятся измерения двух или нескольких разноименных величин для нахождения зависимости между ними. Например, совместное измерение нескольких значений температуры  $T$  и сопротивления терморезистора  $R$  в целях определения его температурной зависимости  $R_{(T)}$ . Совокупные измерения — это проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях и различных сочетаниях этих величин. Примером совокупных измерений может служить нахождение сопротивлений двух резисторов  $R_1$  и  $R_2$

по результатам измерений сопротивлений последовательного и параллельного соединений этих резисторов. Искомые значения сопротивлений находят из системы двух уравнений.

Абсолютные измерения — измерения, основанные на прямых измерениях одной или нескольких величин и использовании значений физических констант, например измерения силы тока в амперах.

Относительные измерения — измерения отношения значения физической величины к одноименной величине или измерения значения величины по отношению к одноименной величине, принятой за исходную.

К статическим измерениям относят измерение, при котором средство измерения работает в статическом режиме, т. е. когда его выходной сигнал (например, отклонение указателя) остается неизменным в течение времени измерения.

К динамическим измерениям относят измерения, выполненные средством измерения в динамическом режиме, т. е. когда его показания зависят от динамических свойств. Динамические свойства средства измерения проявляются в том, что уровень переменного воздействия на него в какой-либо момент времени обуславливает выходной сигнал средства измерения в последующий момент времени.

#### 1.3.4. Методы измерений

Как и измерения любых физических величин, измерения в технике ТКС базируются на определенных принципах. Совокупность приемов использования принципов и средств измерений определяется как метод измерений, являющийся одной из основных характеристик конкретных измерений.

Отметим, что метод измерения должен по возможности иметь минимальную погрешность и способствовать исключению систематических погрешностей.

Методы измерений подразделяют на метод непосредственной оценки и метод сравнения (рис. 1.2).

При методе непосредственной оценки численное значение измеряемой величины определяется непосредственно по показанию измерительного прибора (например, измерение напряжения с помощью вольтметра). Это наиболее распространенный и наиболее оперативный метод измерения, хотя точность измерения обычно ограничена.

Метод сравнения — метод измерения, при котором измеряемая величина  $Y$  сравнивается с одноименной величиной  $Y_m$ , воспроизводимой мерой. Процедура сравнения обычно сводится к получению разности  $Y_r$  (иногда отношения) между величинами  $Y$  и  $Y_m$ . При этом на два выхода сравнивающего устройства поступают сигналы  $Y$  и  $Y_m$ , а на его выходе получают результат сравнения  $Y_r = Y - Y_m$ .

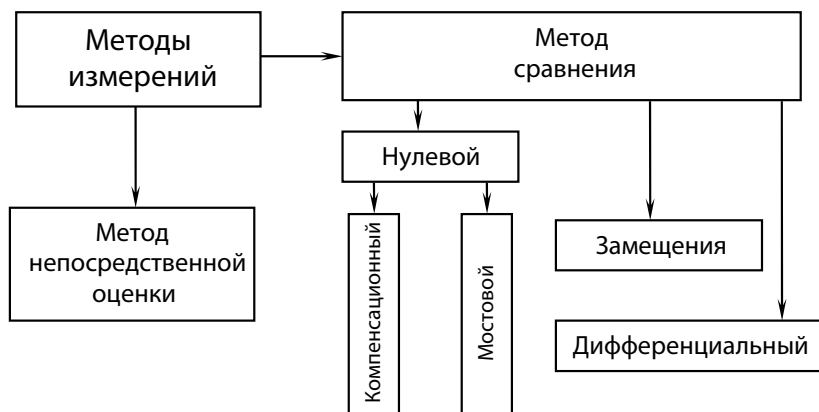


Рис. 1.2. Классификация методов измерений

Метод сравнения предполагает наличие обратной связи, осуществляемой вручную или автоматически, так как значение  $Y_m$ , поступающее на вход сравнивающего устройства, обычно

должно изменяться в зависимости от значения  $Y_r$  на выходе устройства. По сравнению с методом непосредственной оценки, метод сравнения обеспечивает более высокую точность измерений.

Метод сравнения имеет несколько разновидностей.

Нулевой метод, который состоит в том, что результирующий эффект воздействия  $Y_r$  величин  $Y$  и  $Y_m$  на устройство сравнения доводят до нуля путем изменения величины  $Y_m$ . Очевидно, что тогда  $Y = Y_m$ , и значение измеряемой величины отсчитывается по шкале меры. Метод применяется, например, при измерении сопротивления, емкости, индуктивности с помощью мостовых схем.

Нулевой метод подразделяется на:

- компенсационный, при котором действие измеряемой величины компенсируется (уравновешивается) образцовой;
- мостовой, когда достигают нулевого значения тока в измерительной диагонали моста, в которую включается чувствительный индикаторный прибор.

Дифференциальный метод, при котором не равное нулю остаточное значение  $Y_r \ll Y$  измеряется методом непосредственной оценки и значение  $Y$  определяют как  $Y = Y_m + Y_r$ .

В частности, этот метод широко используется для расширения частотного диапазона цифрового частотомера, измеряющего с высокой точностью разность между измеряемой частотой и известной частотой гармоники кварцевого генератора.

Метод замещения, при котором измеряемую величину  $Y$  на входе прибора непосредственной оценки замещают регулируемой мерой более высокого класса точности. При этом, регулируя значение меры  $Y_m$ , добиваются, чтобы показание прибора  $Y'$  совпало с его же показанием, когда на его входе была измеряемая величина. В этом случае, пренебрегая погрешностью меры, можно считать, что  $Y = Y_m$ , а разность  $Y' - Y_m$  будет определять погрешность прибора.



Из всех перечисленных методов нулевой метод обеспечивает наибольшую точность измерений физической величины.

Анализ используемого метода измерений как основной характеристики конкретных измерений, позволяет ввести еще один важный классификационный признак. В зависимости от метода и свойств применяемых средств измерений, все рассмотренные выше виды измерений могут выполняться либо с однократными, либо с многократными наблюдениями.

Наблюдением при измерении (измерительным наблюдением) называется единичная экспериментальная операция, итог которой — результат наблюдения — всегда имеет случайный характер и представляет собой одно из значений измеряемой величины, подлежащей совместной обработке для получения результата измерения. От числа наблюдений зависит способ обработки экспериментальных данных и оценки погрешностей измерений. Различают однократные и многократные наблюдения.

На практике результаты многократных наблюдений при прямых измерениях какой-то физической величины осуществляются одним экспериментатором, в одинаковых условиях и с помощью одного и того же средства измерения. Такие измерения принято называть равноточными. Однако часто возникает необходимость в определении наиболее точной оценки измеряемой величины на основании результатов наблюдений, полученных разными экспериментаторами, в разных условиях, с применением различных методов и средств измерения. Совершенно очевидно, что результаты таких наблюдений будут иметь различную точность, и поэтому подобные измерения называют неравноточными.

### 1.3.5. Методики измерений

В соответствии с Законом РФ «Об обеспечении единства измерений» (статья 9), «Измерения должны осуществляться

в соответствии с аттестованными в установленном порядке методиками. Порядок разработки и аттестации методик выполнения измерений определяется Госстандартом России».

Методики выполнения измерений (МВИ) — документированная совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятой методикой. Как метрологический объект, МВИ появились в 1972 г. При разработке Государственной системы обеспечения единства измерений оказалось недостаточно иметь средства измерений, характеристики которых удовлетворяют традиционным требованиям, так как погрешность измерения часто зависит от методики измерения: погрешности метода; погрешности, возникающей при отборе и приготовлении пробы, условий измерений и т. д.

Совокупность операций и правил, обеспечивающих получение результатов измерений с известной погрешностью, подчеркивает два важных признака: МВИ представляет собой описание операций, и в ней заранее предписывается погрешность измерения.

Разрабатывают МВИ на основе исходных данных, которые включают (ГОСТ Р 8.563—2009 «Методики выполнения измерений»):

- назначение, где указывается область применения, наименование измеряемой величины и ее характеристики, а также характеристики объекта измерений, если они могут влиять на погрешность измерений;
- требования к погрешности измерений;
- условия измерений, заданные в виде номинальных значений и (или) границ диапазонов возможных значений влияющих величин;
- вид индикации и формы представления результатов измерений;
- требования к автоматизации измерительных процессов;

- требования к обеспечению безопасности выполняемых работ;
- другие требования, если в них есть необходимость.

Аттестация МВИ — установление и подтверждение ее соответствия предъявляемым к ней метрологическим требованиям. Аттестацию осуществляют метрологической экспертизой документации, теоретических или экспериментальных исследований МВИ. Аттестованные МВИ подлежат метрологическому надзору и контролю.

## 1.4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Средством измерений (СИ) называют техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящие и (или) хранящие единицу физической величины, размер которой принимается неизменным в течение известного интервала времени.

СИ, в соответствии с ГОСТ 22261–94, должны удовлетворять следующим группам требований: общим техническим требованиям; техники безопасности; правилам приемки; методам испытаний.

В основную группу общих технических требований входят:

- требования к нормируемым метрологическим характеристикам;
- требования к сопротивлению входных и выходных цепей;
- требования к электропитанию;
- требования ко времени установления рабочего режима и продолжительности непрерывной работы;
- требования к СИ при климатических и механических воздействиях;
- требования к конструкции;
- требования электромагнитной совместимости;
- требования к надежности;
- требования к комплектности.

Стандарт распространяется также на вспомогательные узлы к СИ, к которым относятся элементы измерительной цепи СИ, расположенные вне их корпуса.

Используемые в технике ТКС СИ достаточно многообразны. Однако для этого множества можно выделить некоторые общие признаки, присущие всем СИ независимо от области применения. Эти признаки положены в основу классификации СИ. В качестве классификационных признаков СИ могут быть использованы следующие: функциональное назначение; степень автоматизации; стандартизация; положение в поверочной схеме и т. д.

По роли, выполняемой в системе обеспечения единства измерений, СИ делят на:

- метрологические, предназначенные для обеспечения метрологических целей;
- рабочие, применяемые для измерений, не связанных с передачей размера физических единиц.

Метрологические СИ немногочисленны. Их разрабатывают, производят и эксплуатируют в специализированных научно-исследовательских центрах. Поэтому подавляющее большинство используемых на практике СИ принадлежат к группе рабочих.

По отношению к измеряемой физической величине СИ делят на:

- основные — СИ той физической величины, значение которой надо получить в соответствии с измерительной задачей;
- вспомогательные — СИ той физической величины, влияние которой на основное СИ необходимо учесть для получения результата измерения требуемой точности.

Классификация СИ по функциональному назначению приведена на рис. 1.3.

По реализации процедуры измерения СИ бывают элементарными и комплексными.

### 1.4.1. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Элементарные СИ предназначены для реализации отдельных операций прямого измерения. Элементарные СИ, взятые по отдельности, не могут осуществить операцию измерения. К элементарным СИ относят: меры, устройства сравнения и измерительные преобразователи.

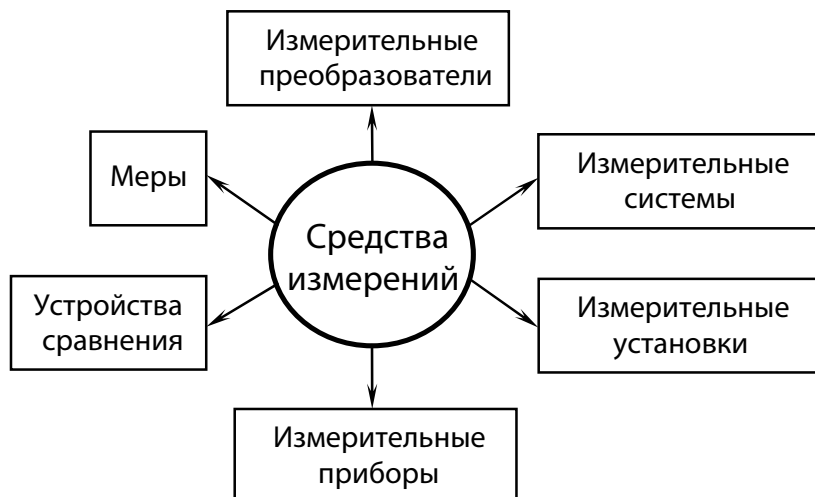


Рис. 1.3. Классификация СИ по функциональному назначению

Мера — СИ, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. В качестве меры при измерениях в ТКС используют измерительные резисторы (мера электрического сопротивления), измерительные конденсаторы (мера электрической емкости) и т. д. Во многих простых приборах роль меры выполняют отсчетные шкалы, проградуированные в единицах измеряемой величины.

Мера может быть однозначной (например, образцовая катушка индуктивности) и многозначной (например, магазин сопротивлений).

Кроме того, различают наборы мер, магазины мер, установочные и встроенные меры. Набор мер — специально подобранный комплект однотипных элементов, применяемых не только по отдельности, но и в различных сочетаниях для воспроизведения ряда одноименных величин разного размера.

Устройство сравнения (компаратор) — это СИ, позволяющее сравнивать друг с другом меры однородных величин или же показания измерительных приборов. Примером устройства сравнения может служить фотореле, включающее (выключающее) нагрузку в зависимости от освещенности.

Измерительный преобразователь — это СИ, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Измерительные преобразователи имеют нормированные метрологические характеристики и конструктивно выполнены, как правило, в виде самостоятельного СИ или являются встроенной составной частью измерительного прибора. С целью сопряжения с СИ и использования в измерительных системах к измерительным преобразователям обычно предъявляют жесткие требования по унификации и стандартизации.

В зависимости от места в измерительной цепи различают преобразователи первичные и промежуточные. Первичные преобразователи — это преобразователи, к которым подводится измеряемая величина (например, термопара в цепи термоэлектрического термометра). Если первичные преобразователи размещаются непосредственно на объекте исследования, удаленном от места обработки, то они называются иногда датчиками.

Широко распространены масштабные измерительные преобразователи, предназначенные для изменения размера величины в заданное число раз (измерительный трансформатор

тока, делитель напряжения, измерительный усилитель и т. д.).

По виду входных и выходных величин измерительные преобразователи можно разделить на:

- аналоговые, преобразующие одну аналоговую величину в другую аналоговую величину;
- аналого-цифровые, преобразующие аналоговый измерительный сигнал в цифровой код;
- цифроаналоговые, предназначенные для преобразования цифрового кода в аналоговую величину.

#### 1.4.2. КОМПЛЕКСНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Комплексные СИ предназначены для реализации всей процедуры измерения. К ним относятся: измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы.

Измерительный прибор — это СИ, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. В технике ТКС сигналом измерительной информации является, как правило, электрический сигнал, функционально связанный с измеряемой физической величиной.

Измерительные приборы классифицируют по ряду признаков.

Измерительные приборы, используемые в ТКС, по принципу действия можно в самом общем виде разделить на электро-механические и электронные. В ТКС, как правило, используются электронные измерительные приборы, в состав которых в качестве отсчетного узла могут входить электро-механические измерительные приборы.

По форме индикации измеряемой величины измерительные приборы делят на показывающие и регистрирующие, среди которых выделяют самопишущие и печатающие.

Показывающий измерительный прибор — устройство, допускающее только считывание показаний, например вольтметр, амперметр.

Регистрирующий измерительный прибор — прибор, в котором предусмотрена регистрация показаний, например универсальный осциллограф.

Самопишущий измерительный прибор — регистрирующий прибор, в котором предусмотрена запись показаний в форме диаграммы.

Печатающий измерительный прибор — регистрирующий измерительный прибор, в котором предусмотрено печатание показаний в цифровой форме.

По методу преобразования измеряемой величины различают измерительные приборы прямого, компенсационного (уравновешивающего) и смешанного преобразования.

Измерительные приборы прямого действия — приборы, в которых предусмотрены одно или несколько преобразований сигнала измерительной информации в одном направлении, т. е. без применения цепей обратной связи; например, амперметры, вольтметры.

Компенсационные (уравновешивающие) измерительные приборы предназначены для непосредственного сравнения измеряемой величины с известной величиной, например потенциометр. Схемы измерительных приборов компенсационного (уравновешивающего) преобразования могут включать в себя узлы, охваченные местной обратной связью, однако определяющим является наличие общей с выхода на вход отрицательной обратной связи.

К измерительным приборам смешанного преобразования относятся приборы, в структуру которых введена отрицательная обратная связь, охватывающая не все звенья прямого преобразования.

По форме преобразования используемых измерительных сигналов измерительные приборы разделяют на аналоговые и цифровые.



Аналоговый измерительный прибор — СИ, показания которого являются непрерывной функцией изменения измеряемой величины. Аналоговые приборы делятся на четыре основные группы, применяемые для разных измерительных целей.

В первую группу входят приборы для измерения параметров и характеристик сигналов (например, осциллографы, вольтметры, частотомеры, анализаторы спектра и т. д.).

Вторую группу образуют приборы для измерения параметров и характеристик активных и пассивных элементов электрических схем. Это измерители сопротивления, емкости, индуктивности, параметров микросхем, транзисторов, а также приборы для снятия частотных и переходных характеристик.

Третья группа — измерительные генераторы, являющиеся источниками сигналов различной амплитуды, формы и частоты.

В четвертую группу входят элементы измерительных схем, такие, как преобразователи, аттенюаторы, фазовращатели, направленные ответвители и т. д.

Цифровым измерительным прибором (ЦИП) называется СИ, автоматически вырабатывающее дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме.

ЦИП имеют перед аналоговыми измерительными приборами ряд преимуществ:

- удобство и объективность отсчета измеряемых величин;
- высокая точность результатов измерения;
- широкий динамический диапазон при высокой разрешающей способности;
- высокое быстродействие из-за отсутствия подвижных электромеханических элементов;
- возможность автоматизации процесса измерения, включая автоматический выбор полярности и пределов измерения;
- возможность использования новейших достижений микроэлектроники при конструировании и изготовлении;

— высокая устойчивость к внешним механическим и климатическим воздействиям.

Среди ЦИП широко применяются автономные многофункциональные приборы на основе микропроцессоров.

Автономный многофункциональный ЦИП содержит микропроцессор, работает по жесткой программе и предназначен для измерения заданных величин, а также параметров и характеристик радиотехнических сигналов и цепей. В автономных микропроцессорных ЦИП нет отдельной магистрали, и все элементы подключены к магистрали микропроцессора. Необходимые программы обработки хранятся в постоянном запоминающем устройстве и по мере необходимости вызываются с помощью клавиатуры.

К вычислительным функциям микропроцессора относятся статистическая обработка результатов измерений, проведение математических операций с измеряемой величиной. Часть сервисных функций может реализовываться без микропроцессора, на жесткой логике.

Измерительные приборы, применяемые в ТКС, характеризуются следующими основными показателями.

Диапазон измерений — область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности измерительного прибора.

Диапазон показаний — размеченная область шкалы, ограниченная ее начальным и конечным значениями, т. е. указанными на ней наименьшим  $X_{\min}$  и наибольшим  $X_{\max}$  возможными значениями измеряемой величины (этот диапазон может быть шире диапазона измерений).

Предел измерений — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

Область рабочих частот (диапазон частот) — полоса частот, в пределах которой погрешность прибора, полученная при изменении частоты сигнала, не превышает допускаемого предела.

Цена деления шкалы — разность значений измеряемой величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

Градуировочная характеристика — зависимость, определяющая соотношения между сигналами на входе и выходе измерительного прибора в статическом режиме.

Чувствительность  $S$  по измеряемому параметру — отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора  $\Delta y$  к вызвавшему его изменению измеряемой величины  $\Delta x$ :

$$S = \lim \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

Предельная чувствительность — минимальная величина исследуемого сигнала, подаваемого на вход измерительного прибора, которая необходима для получения отсчета с погрешностью, не превосходящей допустимую.

Разрешающая способность (абсолютная) — минимальная разность двух значений измеряемых однородных величин, которая может быть различима с помощью прибора.

Быстродействие (скорость измерения) — максимальное число измерений в единицу времени, выполняемых с нормированной погрешностью.

Время измерения — время, прошедшее с момента изменения измеряемой величины (начала принудительного цикла измерения) до момента получения нового результата на отсчетном устройстве с нормированной погрешностью.

Входное сопротивление (полное)  $Z_{\text{вх}}$  — сопротивление измерительного прибора со стороны его входных зажимов. Чтобы не влиять на измеряемую цепь, измерительные приборы должны иметь как можно большее активное входное сопротивление и возможно меньшую входную емкость.

Выходное сопротивление  $Z_{\text{вых}}$  — сопротивление измерительного прибора со стороны его выходных зажимов. Это со-

противление определяет допустимую нагрузку прибора при подключении, например, его к шине данных компьютера.

Вариация показаний — средняя разность между показаниями прибора, соответствующими данной точке диапазона измерений, при двух направлениях медленного многократного изменения измеряемой величины. Вариация характеризует, насколько устойчиво повторяются показания прибора при измерениях одних и тех же значений величин.

Время установления показаний (время успокоения) — промежуток времени, прошедший с момента изменения измеряемой величины до момента установления показаний.

Собственная потребляемая мощность — мощность, потребляемая измерительным прибором от измеряемой цепи (чем меньше собственная потребляемая мощность, тем точнее измерения).

Погрешности измерительного прибора (инструментальные погрешности) — погрешности, оказывающие влияние на точность измерения физической величины.

Все перечисленные показатели относятся к метрологическим характеристикам СИ. Эти характеристики чаще всего нормируются в технической документации. Есть и другие характеристики измерительных приборов, присущие только цифровым средствам измерения, которые будут введены позднее.

Измерительная установка — совокупность функционально объединенных СИ и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, и расположенная в одном месте.

Измерительная система — совокупность СИ и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

Измерительные системы являются разновидностью более широкого класса — информационно-измерительных систем (ИИС), предназначенных для автоматического сбора, обработки, передачи и представления измерительной информации в том или ином виде. Помимо ИИС получили распространение измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) — автоматизированные средства измерений и обработки информации, представляющие собой совокупность программно-управляемых измерительных и вычислительных средств, предназначенных для исследования сложных объектов и управления ими.

В настоящее время получили распространение компьютерные измерительные системы (КИС), а также виртуальные средства измерения.

### **1.5. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ И ПЕРЕДАЧА РАЗМЕРОВ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

Решение одной из основных задач метрологии — обеспечения единства измерений — достигается как за счет точного воспроизведения, хранения и передачи размеров установленных единиц физических величин, так и за счет применяемых СИ.

Воспроизведение единицы физической величины — это совокупность операций по материализации единицы физической величины с наивысшей в точностью посредством государственного эталона или исходного образцового СИ. Различают воспроизведение основной и производной единиц.

Воспроизведение основной единицы — это воспроизведение единицы путем создания фиксированной по размеру физической величины в соответствии с определением единицы. Оно осуществляется с помощью государственных первичных эталонов.

Воспроизведение производной единицы — это определение значения физической величины в указанных единицах на ос-

новании косвенных измерений других величин, функционально связанных с измеряемой величиной.

Передача размера единицы — это приведение размера единицы физической величины, хранимой поверяемым СИ, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталонном, осуществляемое при их поверке или калибровке. Размер единицы передается «сверху вниз» — от более точных СИ к менее точным.

Хранение единицы — совокупность операций, обеспечивающая неизменность во времени размера единицы, присущего данному СИ. Хранение эталона единицы физической величины предполагает проведение взаимосвязанных операций, позволяющих поддерживать метрологические характеристики эталона в установленных пределах.

Правильную передачу размера единиц физических величин во всех звеньях метрологической цепи производят поверочными схемами. Поверочная схема устанавливает передачу размера единицы одной или нескольких взаимосвязанных величин.

Поверочная схема — нормативный документ, который устанавливает соподчинение СИ, участвующих в передаче размера единицы от эталона к рабочим СИ с указанием методов и погрешности, утвержденный в установленном порядке.

Поверочные схемы делят на государственные, ведомственные и локальные.

Государственная поверочная схема распространяется на все имеющиеся СИ данной физической величины.

Ведомственная поверочная схема распространяется на СИ данной физической величины, подлежащие ведомственной поверке.

Локальная поверочная схема распространяется на СИ данной физической величины, подлежащие поверке в отдельном органе метрологической службы.

Государственную поверочную схему разрабатывают в виде национального стандарта, состоящего из ее чертежа и тексто-

вой части, содержащей пояснения к чертежу. Ведомственные и локальные поверочные схемы не должны противоречить государственным поверочным схемам.

Отметим, что для многофункциональных средств СИ (например, ампервольтметров) используют ряд поверочных схем. В состав поверочных схем могут входить образцовые СИ, заимствованные из других поверочных схем, т. е. средства, разработанные для другой поверочной схемы. Так, в состав поверочной схемы СИ силы тока входят образцовые меры ЭДС и сопротивлений.

### Эталоны

Средства измерения, предназначенные для воспроизведения и хранения единиц измерений, для поверки и градуировки мер и измерительных приборов, делятся на эталоны и образцовые СИ.

Эталон — СИ (или комплекс СИ), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины с наивысшей точностью для данного уровня развития измерительной техники с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ. Перечень эталонов не повторяет перечня физических величин. Для ряда единиц эталоны не создают потому, что невозможно непосредственно сравнить соответствующие величины, например нет эталона площади.

Каждый эталон должен обладать тремя взаимосвязанными свойствами: неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

Неизменность — свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы физической величины в течение длительного времени.

Воспроизводимость — возможность воспроизведения единицы физической величины с наименьшей погрешностью.

Сличаемость — возможность сличения с эталоном других СИ, нижестоящих по поверочной схеме, с наивысшей точностью.

Эталоны специально классифицируют в зависимости от метрологического назначения. Это назначение предполагает оснащение метрологической службы первичными, специальными, национальными (ранее — государственными), международными и вторичными эталонами.

Первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в стране точностью. Первичные эталоны — уникальные СИ, часто представляющие собой сложнейшие измерительные комплексы. Данные эталоны составляют основу государственной системы обеспечения единства измерений и делятся на специальные, национальные и международные.

Специальный эталон воспроизводит физическую единицу в особых условиях и заменяет для них первичный эталон. Он служит для воспроизведения единицы в условиях, в которых первичный эталон не может использоваться и прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью технически неосуществима. Первичные и специальные эталоны являются исходными для страны, их утверждают в качестве национальных.

Национальный — первичный (или специальный) эталон, принятый в качестве исходного на территории государства.

Международный — эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров физических единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

Вторичный эталон — эталон, значение которого устанавливается по первичному эталону. Вторичные эталоны являются частью подчиненных средств хранения единиц и передачи их размеров, создаются в тех случаях, когда это



необходимо для организации поверочных работ, а также для обеспечения сохранности и наименьшего износа национального эталона.

Вторичные эталоны, в свою очередь, подразделяются по назначению на эталоны-свидетели, эталоны-копии, эталоны сравнения и рабочие эталоны.

Эталон-свидетель служит для проверки сохранности и неизменности национального эталона и замены его в случае порчи или утраты.

Эталон-копия предназначен для передачи размера единицы рабочим эталонам. Благодаря этому первичный эталон разгружается от текущих работ по передаче размера единицы, что повышает срок его службы.

Эталон сравнения применяется для взаимного сличения эталонов, которые по тем или иным причинам нельзя непосредственно сравнивать друг с другом (например, международные сличения эталонов).

Рабочие эталоны являются наиболее распространенной категорией вторичных эталонов, и они предназначены для проверки образцовых и наиболее точных рабочих СИ. Отметим, что рабочими называют такие СИ, которые применяются для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Рабочие эталоны подразделяют на 1-й, 2-й и последующие разряды, определяющие порядок их соподчинения в соответствии с поверочной схемой. Различным видам измерений, исходя из практики и уровня точности измерений, устанавливают различное число разрядов рабочих эталонов, определяемых соответствующими стандартами на поверочные схемы для данного вида измерений. На рис. 1.4 показана метрологическая последовательность передачи размеров единиц физических величин от первичного эталона рабочим, от рабочих эталонов — рабочим мерам и рабочим СИ (измерительным приборам).

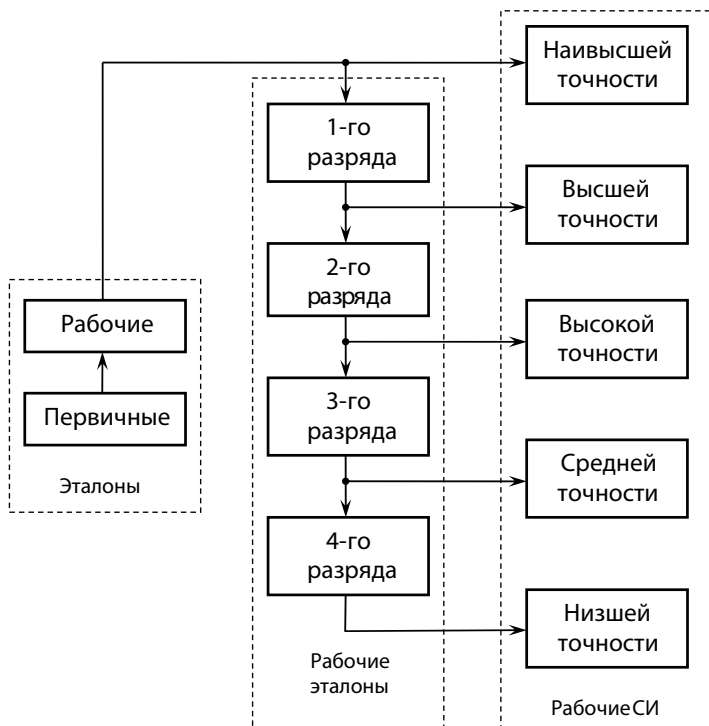


Рис. 1.4. Структура передачи размеров единиц физических величин

Совокупность всех перечисленных эталонов образует эталонную базу Российской Федерации.

## 1.6. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Измерения в ТКС имеют ряд специфических особенностей. Современные ТКС содержат множество логических устройств, использующих для взаимодействия различные сигнальные

и информационные протоколы. Поэтому в ТКС возникает задача описания технологии как классических измерений, так и измерений, связанных с логическим анализом алгоритмов взаимодействия логических устройств ТКС.

Основным предметом метрологии является измерение физических величин. Все классификации методов измерений и измерительных средств построены на разделении по измеряемым величинам или параметрам. Комплексное решение по программе измерений в современных ТКС может включать сотни таких параметров и анализ процессов взаимосвязи между ними. В результате, поставив в основу классификации измеряемые параметры, мы можем получить комплексные решения только в самых простых случаях. В современных ТКС подобные измерения составляют большую часть.

В то же время в ТКС часто требуется перейти от измерения параметров сигналов к анализу алгоритмов работы, а процесс преобразования сигнала заменить алгоритмическим процессом конвертации протокола. Классическая метрология этого не делает и не может сделать в силу постулатов, лежащих в ее основе. Поэтому в измерительных задачах ТКС приходится использовать как классическую метрологию и классические СИ, так и измерительную технологию.

Применяемая в ТКС измерительная технология представляет собой совокупность методов, подходов к организации измерений и интерпретации результатов, конкретных подходов, а также измерительных средств, которая необходима для качественного обслуживания соответствующих обычных и логических устройств ТКС.

Возможность учесть современное развитие методов измерений, связанное с решением прикладных задач телекоммуникаций, позволяет технологический подход. С точки зрения метрологии, технологический подход — это решение прикладной задачи описания технических измерений.

Технологический подход является сугубо прикладным и ориентирован на эксплуатационные измерения в современных ТКС. Он использует достижения современной метрологии в вопросах измерений параметров классических сигналов ТКС. В то же время само понятие измерений в технологическом подходе является более широким и включает также анализ протоколов взаимодействия логических устройств ТКС. В области телекоммуникаций только технологический подход дает в полной мере возможность анализа и описания методов организации эксплуатационных измерений и построения комплексных измерительных решений в современных ТКС. Метрологический подход такой возможности не дает. В то же время преимущества классической метрологии — использование математического аппарата для анализа погрешностей и обоснование метода измерений — присутствуют в технологическом подходе при измерении физических параметров.

Среди многочисленных задач ТКС выделяется вопрос обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) — способности различных систем одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавая таких помех другим системам. При одновременной работе множества систем помехи неизбежны.

Комплекс измерительных задач, возникающих при решении проблемы ЭМС, достаточно обширен и сложен. Он включает измерения следующих составляющих:

- спектральных параметров излучений;
- параметров и характеристик побочных излучений;
- напряженности электромагнитного поля;
- диаграмм направленности антенн;
- уровней радиопомех различного происхождения;
- частоты, стабильности частоты и др.

Таким образом, необходимость анализа логических и алгоритмических процессов, множество измеряемых величин, а также широкий диапазон их значений приводят к многообразию принципов, на которых базируется построение измерительной аппаратуры, применяемой при измерениях в ТКС.

Не вдаваясь в подробности, отметим, что современные ТКС строятся на основе семиуровневой модели взаимодействия открытых систем (формирование сигнала, аналого-цифровое преобразование, кодирование, шифрование и т. д.). Технологии измерений в ТКС включают в себя три уровня тестирования: интерфейсов, канала передачи и протоколов. Часто функции измерений разных уровней интегрированы в одном измерительном приборе, однако задачи измерений, принципы их организации и методы интерпретации результатов для каждого уровня свои. Классическая метрология ориентирована на задачи первого уровня модели, вместе с тем на практике остальные уровни не менее важны.

## ГЛАВА 2. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

---

### 2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Какими бы точными и совершенными ни были средства и методы измерения и как бы тщательно ни выполнялись сами измерения, их результат всегда отличается от истинного значения измеряемой физической величины, т. е. находится с некоторой погрешностью. Понятие «погрешность» является одним из основных в метрологии.

Источниками погрешности являются: несовершенство применяемых методов и средств измерений, непостоянство влияющих на результат измерения физических величин, а также индивидуальные особенности экспериментатора. Кроме того, на точность измерений влияют внешние и внутренние помехи, климатические условия, порог чувствительности измерительного прибора и т. д.

Как одна из основных характеристик результата измерения, погрешность должна быть обязательно оценена. Для различных видов измерений проблема оценки погрешности может решаться по-разному. Погрешность результата измерения можно оценить с разной точностью, на основании различной исходной информации. Измерение можно считать законченным, если полностью определено не только значение измеряемой физической величины, но и погрешность измерения.

Принято различать погрешность результата измерения и погрешность СИ. Эти два понятия близки друг к другу и классифицируются, в основном, по одинаковым признакам.

Погрешностью измерения называется отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой физической величины. Так как истинное значение измеряемой величины неизвестно, то при количественной оценке погрешности пользуются действительным значением физической величины. Это значение находится экспериментальным путем и настолько близко к истинному значению, что для поставленной измерительной задачи может быть использовано вместо него.

Погрешность СИ — разность между показаниями СИ и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины. Она характеризует точность результатов измерений, проводимых данным СИ.

Под точностью измерений в общем случае понимают качество измерений, отражающих близость их результатов к истинному (действительному) значению измеряемой величины, а точность СИ — это качество СИ, отражающее близость к нулю его погрешностей.

Обычно о точности говорят в качественном смысле, однако в некоторых случаях точность определяется количественно, величиной, обратной модулю относительной погрешности.

Уровень точности, к которому необходимо стремиться при проведении измерений, должен определяться критериями технической и экономической целесообразности. В метрологии установлено, что увеличение точности измерения вдвое удорожает само измерение в два-три раза. В то же время снижение точности измерения ниже определенной нормы приводит к неправильным результатам оценивания состояния исследуемого явления или процесса. При установлении точности измерений важно также учитывать их значимость. В одних случаях недостаточная точность получаемой измерительной информации

имеет небольшое или локальное значение, в других — играет исключительно важную роль.

В 2000 г. ГОСТ 8.000–2000 официально ввел понятие «неопределенность измерений». Неопределенность измерений — это параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые можно приписать измеряемой физической величине.

В зависимости от того, как оценивают численные значения составляющих неопределенности измерений, различают неопределенности двух типов (категорий): *A* и *B*.

Оценка типа *A* определяется экспериментальным стандартным отклонением на основе статистической обработки серии измерений.

Оценка типа *B* также характеризуется стандартным отклонением и основана на распределении вероятностей, но здесь экспериментаторам дается право привлекать дополнительные данные, например, сведения из паспортных данных СИ, сведения из предварительных измерений и т. д.

В настоящее время понятие «неопределенность измерений» обязательно к использованию в процессе международных сравнений эталонов и оказании калибровочных услуг зарубежным организациям.

## 2.2. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Для нахождения и определения путей уменьшения погрешностей измерений необходимо знать причины их возникновения и закономерности изменения.

Погрешность измерения в общем случае определяется результатом совместного воздействия различного рода факторов объективного и субъективного характера, что учитывается в классификации погрешностей. На рис. 2.1 приведена классификация погрешностей измерений по основным признакам.



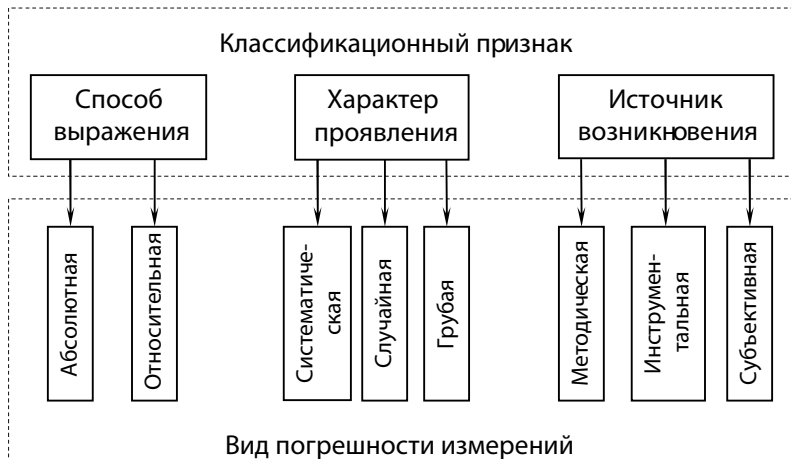


Рис. 2.1. Основные виды погрешностей измерений

По способу количественного выражения погрешности измерений делятся на абсолютные и относительные.

Абсолютной погрешностью, выражаемой в единицах измеряемой величины, называется отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины:

$$\Delta = x_{\text{изм}} - x_{\text{и}}, \quad (2.1)$$

где  $x_{\text{изм}}$  — значение физической величины, полученное в результате измерения;

$x_{\text{и}}$  — истинное значение величины.

Поскольку истинное значение физической величины  $x_{\text{и}}$  неизвестно, то на практике используют понятие действительного значения величины  $x_{\text{д}}$ :

$$\Delta = x_{\text{изм}} - x_{\text{д}}. \quad (2.2)$$

Для того чтобы иметь возможность сравнивать качество измерений, введено понятие относительной погрешности.

Относительной погрешностью измерения называется отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (действительному) значению измеряемой величины:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{\text{и}}} \cdot 100\% . \quad (2.3)$$

Например, измерение силы тока в 10 А и 100 А может быть выполнено с идентичной абсолютной погрешностью  $\Delta = \pm 1$  А. Однако качество (точность) первого измерения ниже второго.

По характеру (закономерности) изменения погрешности измерений подразделяются на систематические, случайные и грубые (промахи).

Систематические погрешности  $\Delta_c$  — составляющие погрешности измерений, остающиеся постоянными или закономерно изменяющиеся при многократных (повторных) измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях.

Такие погрешности могут быть выявлены путем детального анализа возможных их источников и уменьшены (применением более точных приборов, калибровкой приборов с помощью рабочих мер и пр.). Однако полностью их устранить нельзя. Ту часть систематической погрешности, которая остается после принятия мер по ее устранению, принято называть неисключенной систематической погрешностью.

По характеру изменения во времени систематические погрешности измерений подразделяются на постоянные (сохраняющие величину и знак), прогрессирующие (возрастающие или убывающие во времени), периодические, а также изменяющиеся во времени по сложному непериодическому закону.

Значение систематической погрешности обычно связывают с понятием правильности измерений. Чем меньше систематическая погрешность, тем правильнее проведено измерение.

Случайные погрешности  $\Delta^\circ$  — составляющие погрешности измерений, изменяющиеся случайным образом при повторных

(многократных) измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях. В появлении таких погрешностей нет какой-либо закономерности, они проявляются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса получаемых результатов. Практически случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда имеют место в результате измерения. В отличие от систематических случайные погрешности нельзя исключить из результатов измерений путем введения поправки, однако их можно существенно уменьшить путем многократного измерения этой величины и последующей статистической обработки полученных результатов.

Следовательно, описание случайных погрешностей возможно только на основе теории вероятностей и математической статистики.

Грубые погрешности (промахи) — погрешности, существенно превышающие ожидаемые при данных условиях измерения. Такие погрешности возникают из-за ошибок оператора или неучтенных внешних воздействий. Их выявляют при обработке результатов измерений и исключают из рассмотрения, пользуясь определенными правилами.

Таким образом, без учета промахов абсолютная погрешность измерения  $\Delta$  в общем случае представляет собой сумму систематической и случайной погрешностей:

$$\Delta = \Delta_{\text{с}} + \Delta^{\circ}. \quad (2.4)$$

Это означает, что абсолютная погрешность, как и результат измерения, является случайной величиной.

По причинам возникновения погрешности измерения подразделяются на методические, инструментальные и субъективные.

Методические погрешности возникают обычно из-за несовершенства метода измерений, использования неверных теоретических предпосылок (допущений) при измерениях,

а также из-за влияния выбранного СИ на параметры сигналов. Если, например, электронный вольтметр обладает недостаточно высоким входным сопротивлением, то его подключение к исследуемой схеме способно изменить в ней распределение токов и напряжений. При этом результат измерения может существенно отличаться от действительного.

Методические погрешности нельзя найти путем анализа характеристик используемого для измерения СИ. Они определяются лишь путем создания математических моделей объекта измерения.

В общем случае задача оценки методической погрешности относится к разряду сложных задач. Однако во многих случаях методические погрешности могут быть вычислены до проведения измерений и исключены из результатов измерений.

Инструментальные (аппаратурные, приборные) погрешности возникают из-за несовершенства СИ, т. е. от погрешностей СИ. Источниками инструментальных погрешностей могут быть, например, неточная градуировка прибора и смещение нуля, вариация показаний прибора в процессе эксплуатации и т. д.

Различают три составляющих инструментальной погрешности: схемную, технологическую и эксплуатационную.

Схемная погрешность — это инструментальная погрешность, присущая самой конструкции или кинематической схеме СИ. Эта погрешность не связана с недостатками изготовления СИ.

Технологическая погрешность — это инструментальная погрешность, возникающая в результате несовершенства технологии изготовления СИ. Например, неточности нанесения отметок шкалы.

Эксплуатационная погрешность — это инструментальная погрешность, возникающая в результате эксплуатации СИ (износ, старение и т. д.).

Субъективные погрешности вызываются ошибками оператора при отсчете показаний СИ (погрешности от небрежности и невнимания оператора, от параллакса, т. е. от неправильного направления взгляда при отсчете показаний стрелочного прибора и пр.). Подобные погрешности устраняются применением современных цифровых приборов или автоматических методов измерения.

### 2.3. ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В метрологии существует достаточно обширная классификация погрешностей СИ. Как и погрешности измерений, погрешности СИ можно классифицировать по ряду основных признаков (рис. 2.2).

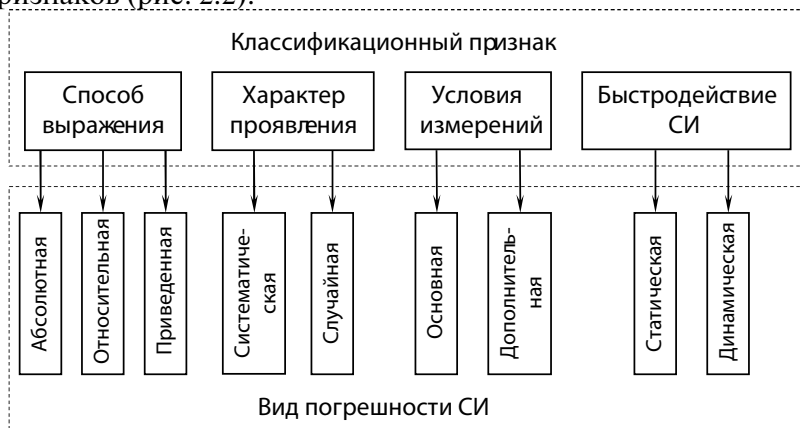


Рис. 2.2. Основные виды погрешностей СИ

Абсолютная погрешность СИ — погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины и равная разности между показаниями СИ  $x_n$  и истинным  $x_n$  (действительным  $x_d$ ) значением измеряемой величины:

$$\Delta = x_{\Pi} - x_{\Pi}^* \quad (2.5)$$

В общем случае абсолютная погрешность СИ  $\Delta$  состоит из аддитивной (суммируемой с измеряемой величиной) и мультипликативной (умножаемой на измеряемую величину) составляющих. Аддитивная составляющая не зависит, а мультипликативная зависит от измеряемой величины  $x$ . Наличие в погрешности  $\Delta$  аддитивной и мультипликативной составляющих связано с характером отклонения реальной градуировочной характеристики СИ  $y = f_p(x)$  от номинальной характеристики  $y = f_n(x)$ .

Три возможных случая такого отклонения реальной градуировочной характеристики СИ (для линейного вида зависимости) от номинальной представлены на рис. 2.3.

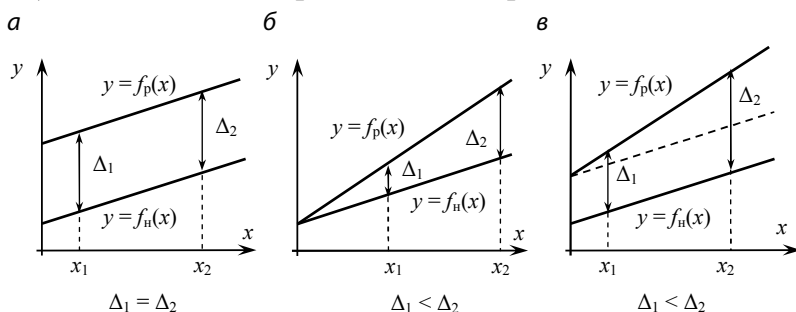


Рис. 2.3. Отклонения градуировочных характеристик СИ, вызывающие погрешности: *a* — только аддитивную; *б* — только мультипликативную; *в* — аддитивную и мультипликативную

Отклонение реальной градуировочной характеристики СИ от номинальной, показанное на рис. 2.3, *a*, приводит к появлению в абсолютной погрешности СИ только аддитивной составляющей. Отклонение характеристик, приведенных на рис. 2.3, *б*, вызывает только мультипликативную погрешность.

Отклонение градуировочной характеристики от номинальной, показанное на рис. 2.3, *в*, приводит к появлению в абсолютной погрешности СИ как аддитивной, так и мультипликативной составляющих.

Абсолютная погрешность удобна для практического применения, т. к. дает значение погрешности СИ в единицах измеряемой величины. Но при ее использовании трудно сравнивать СИ по точности с разными диапазонами измерений. Эта проблема снимается при использовании относительных погрешностей.

Относительная погрешность СИ — погрешность СИ, выраженная отношением абсолютной погрешности СИ к действительному значению измеренной величины:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_d} \cdot 100\% . \quad (2.6)$$

Относительная погрешность дает наилучшее из всех видов погрешностей представление об уровне точности измерений, который может быть достигнут при использовании данного СИ. Однако она обычно существенно изменяется вдоль шкалы СИ, например увеличивается с уменьшением значения измеряемой величины. В связи с этим часто используют приведенную погрешность СИ.

Приведенная погрешность СИ — относительная погрешность СИ, выраженная отношением абсолютной погрешности СИ к условно принятому значению величины  $x_n$ , которое называют нормирующим:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_n} \cdot 100\% . \quad (2.6)$$

Под нормирующим значением  $x_n$  понимается условно принятое значение, которое в общем случае зависит от характера шкалы и расположения нулевой отметки на шкале.

Относительные и приведенные погрешности обычно выражают либо в процентах, либо в относительных единицах (долях единицы). Приведенные погрешности позволяют сравнивать по точности СИ, имеющие разные пределы измерений, если абсолютные погрешности каждого из них не зависят от значения измеряемой величины.

Погрешности СИ по своему характеру проявления (происхождению) разделяются на систематические и случайные.

Систематическая погрешность СИ — составляющая погрешности СИ, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся.

Систематическую погрешность СИ можно считать постоянной или закономерно изменяющейся величиной только для одного экземпляра СИ. Реально, в соответствии с нормативными документами (ГОСТ 8.009—84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений»), систематическая погрешность определяется для совокупности СИ одного типа. Следовательно, систематические погрешности каждого экземпляра СИ будут случайным образом отличаться друг от друга, а систематическая погрешность всей совокупности СИ рассматривается как случайная величина. При оценивании погрешностей СИ характер изменения систематической составляющей погрешности не всегда можно определить, но при этом оказываются известны границы, в которых она может находиться, следовательно, учитывать такую погрешность можно как случайную, изменяющуюся по неизвестному закону.

Кроме того, систематические погрешности СИ являются в общем случае функциями измеряемой величины и влияющих величин (температуры, влажности, давления, напряжения питания и т. п.).

Случайная погрешность СИ — составляющая погрешности СИ, изменяющаяся случайным образом. Случайные погреш-



ности СИ обусловлены случайными изменениями параметров, составляющих эти СИ.

При конструировании СИ случайную погрешность стараются сделать незначительной в сравнении с другими погрешностями. У хорошо сконструированного и выполненного СИ случайная погрешность незначительна. Однако при увеличении чувствительности СИ обычно наблюдается увеличение случайной погрешности. Тогда при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях результаты будут различными. В таком случае приходится прибегать к многократным измерениям и к статистической обработке получаемых результатов. Как правило, случайную погрешность СИ снижают до такого уровня, что проводить многократные измерения нет необходимости.

По условиям проведения измерений погрешности СИ подразделяются на основные и дополнительные. Деление погрешностей СИ на основные и дополнительные обусловлено тем, что свойства СИ зависят от внешних условий.

Основная погрешность СИ — погрешность СИ, применяемого в нормальных условиях. Нормальные значения влияющих величин указываются в стандартах или технических условиях на СИ данного вида в форме номиналов с нормированными отклонениями. Наиболее типичными нормальными условиями являются:

- температура  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ;
- относительная влажность  $(65 \pm 15)\%$ ;
- атмосферное давление  $(100 \pm 4)$  кПа или  $(750 \pm 30)$  мм рт. ст.;
- напряжение питания электрической сети  $220 \text{ В} \pm 2\%$  с частотой 50 Гц.

Иногда вместо номинальных значений влияющих величин указывается нормальная область их значений. Например, влажность (30–80)%.

Дополнительная погрешность — составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешно-

сти вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения.

По соотношению быстродействия СИ и скорости изменения измеряемой физической величины в процессе измерений различают статические и динамические погрешности СИ.

Статические погрешности СИ возникают при измерении установившегося значения измеряемой величины, т. е. когда эта величина перестает изменяться во времени.

Динамические погрешности СИ имеют место при динамических измерениях, когда измеряемая величина изменяется во времени и требуется установить закон ее изменения. Динамическая погрешность СИ определяется как разность между погрешностью в динамическом режиме и статической погрешностью СИ. Причина появления динамических погрешностей состоит в несоответствии скоростных (временных) характеристик СИ и скорости изменения измеряемой величины.

### 2.3.1. НОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Как правило, реальные метрологические характеристики, и в частности погрешности СИ, имеют отклонения от их номинальных значений. Поэтому устанавливают границы для отклонений реальных метрологических характеристик от номинальных значений — нормируют их. Нормирование метрологических характеристик и погрешностей СИ позволяет избежать произвольного установления их характеристик разработчиками.

Нормирование характеристик и погрешностей СИ проводится в соответствии с положениями ГОСТ 8.009.84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». Соответствие СИ установленным для них нормам делает эти средства взаимозаменяемыми.

В основе нормирования погрешностей СИ лежат следующие основные положения.

1. В качестве норм указывают пределы допускаемых погрешностей, включающие в себя систематические и случайные составляющие. Под пределом допускаемой погрешности понимается наибольшее значение погрешности СИ, при котором оно еще признается годным к применению. Обычно устанавливают пределы, т. е. зону, за которую не должна выходить погрешность. Данная норма отражает то положение, что СИ можно применять с однократным считыванием показаний.

2. Отдельно нормируют все свойства СИ, влияющие на их точность: основную погрешность, по отдельности — все дополнительные погрешности и другие свойства, влияющие на точность измерений. При выполнении данного требования обеспечивается максимальная однородность СИ одного типа, то есть близкие значения дополнительных погрешностей, обусловленных одними и теми же факторами. Это дает возможность заменять СИ другим, однотипным без возможного увеличения суммарной погрешности.

Пределы допускаемых погрешностей СИ применяются как для абсолютной, так и для относительной погрешности.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности СИ устанавливают для аддитивной погрешности по формуле

$$\Delta_{\text{и}} = \pm a. \quad (2.7)$$

Для мультипликативной погрешности они устанавливаются в виде линейной зависимости

$$\Delta_{\text{и}} = \pm (a + b x_{\text{и}}), \quad (2.8)$$

где  $x_{\text{и}}$  — показание СИ;

$a$  и  $b$  — положительные числа, не зависящие от  $x_{\text{и}}$ .

С точки зрения точности,  $a$  — остаточная погрешность, величина которой определяется выбранным методом измерения,

а  $b x_n$  — так называемая погрешность чувствительности СИ. Величина этих составляющих определяется стандартами на конкретные СИ.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности могут устанавливаться также по более сложной формуле, в виде графиков и таблиц.

Предел допускаемой относительной основной погрешности СИ (в процентах) для мультипликативной погрешности устанавливаются по формуле

$$\delta_n = \frac{\Delta_n}{x_n} \cdot 100\% = \pm q. \quad (2.9)$$

Для аддитивной погрешности формула имеет вид:

$$\delta_n = \frac{\Delta_n}{x_n} = \pm [c + d \left( \left| \frac{x_k}{x_n} \right| - 1 \right)], \quad (2.10)$$

где  $x_k$  — конечное значение диапазона измерений СИ;

$c$  и  $d$  — отвлеченные положительные числа.

Пределы допускаемой приведенной погрешности (в процентах) устанавливаются по формуле

$$\gamma_n = \left( \frac{\Delta_n}{x_n} \right) \cdot 100\% = \pm p, \quad (2.11)$$

где  $\Delta_n$  — пределы абсолютной основной погрешности, устанавливаемые по (2.7);

$x_n$  — нормирующее значение;

$p$  — отвлеченное положительное число.

Нормирующее значение  $x_n$  для аналоговых СИ выбирают в зависимости от характера шкалы и расположения нулевых отметок. Для СИ с равномерной или степенной шкалой, если нулевое значение находится на краю или вне диапазона измерений, нормирующее значение  $x_n$  устанавливают равным боль-

шему из пределов измерений или равным большему из модулей пределов измерений, если нулевое значение находится внутри диапазона измерений. Для СИ с существенно неравномерной шкалой  $x_n$  устанавливают равным всей длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений.

Отвлеченные положительные числа  $c$ ,  $d$ ,  $p$  в (2.10) и (2.11) выбираются из ряда  $1 \cdot 10^n$ ;  $1,5 \cdot 10^n$ ;  $2 \cdot 10^n$ ;  $2,5 \cdot 10^n$ ;  $4 \cdot 10^n$ ;  $5 \cdot 10^n$ ;  $6 \cdot 10^n$ , где  $n = 1, 0, -1$  и т. д.

Установление рядов пределов допускаемых погрешностей позволяет упорядочить требования к СИ по точности. Это упорядочивание осуществляется путем установления классов точности СИ.

Класс точности СИ — обобщенная характеристика данного типа СИ, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемой основной, а в некоторых случаях и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность. Класс точности применяется для СИ, используемых в технических измерениях, когда нет необходимости или возможности выделить отдельно систематические и случайные погрешности, оценить вклад влияющих величин с помощью дополнительных погрешностей. Класс точности позволяет судить о том, в каких пределах находится погрешность СИ одного типа, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью каждого из этих средств. Класс точности СИ конкретного типа устанавливают в стандартах технических требований или других нормативных документах.

В настоящее время по отношению к современным СИ понятие «класс точности» применяется довольно редко. В основном оно чаще всего используется для описания характеристик электроизмерительных приборов, аналоговых стрелочных приборов всех типов, некоторых мер длины, весов и т. д.

Примеры обозначения классов точности для различных форм выражения погрешности приведены в п. 3.4.3.

## 2.3.2. ЭНТРОПИЙНАЯ ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В настоящее время в процессы получения измерительной информации активно внедряются методы теории информации. Так как СИ обеспечивают получение измерительной информации, то можно утверждать, что положения теории информации можно использовать для оценки погрешности СИ.

С точки зрения теории информации суть измерения состоит в сужении интервала неопределенности информации от значения, известного перед его проведением, до величины, называемой энтропийной погрешностью (энтропийным интервалом неопределенности)  $\Delta_3$ .

Мерой неопределенности в теории информации является безусловная энтропия  $H(x)$ , определяемая как

$$H(x) = - \int_{-y}^y f(x) [\ln f(x)] dx, \quad (2.12)$$

где  $f(x)$  — плотность распределения величины  $x$ ;

$y$  — границы исследования.

Знак минус в (2.12) ставится, чтобы значение энтропии было величиной положительной, так как значения логарифмов величин, меньших единицы, отрицательны.

При известном законе распределения вероятностей энтропия  $H(x)$  позволяет оценить неопределенность значений, которые остаются после измерения физической величины. Следует заметить, что энтропия равна нулю, если информация о измеряемой величине оказывается достоверной.

Согласно основному положению теории информации (теорема К. Шеннона), получаемое в результате измерения количество информации  $I$  равно уменьшению неопределенности, т. е. разности энтропии, до и после измерения:

$$I = H(x) - H(x/x_{\text{и}}), \quad (2.13)$$

где  $H(x/x_{\text{и}})$  — условная энтропия при известном результате измерения  $x_{\text{и}}$ .

Условная энтропия  $H(x/x_{\text{и}})$  зависит только от закона распределения погрешностей  $\Delta$  и определяется выражением

$$H(x/x_{\text{и}}) = - \int_{-y}^y f(\Delta) [\ln f(\Delta)] d\Delta. \quad (2.14)$$

За основу для энтропийного значения погрешности  $\Delta_{\text{э}}$  в метрологии принято брать наибольшее значение погрешности при равномерном распределении  $H_{\text{р}}(\Delta)$ , которое вносит такую же дезинформацию, как и погрешность с любым другим законом распределения  $H_{\text{х}}(\Delta)$ .

На основании (2.14) условную энтропию равномерного распределения можно представить в виде:

$$H_{\text{р}}(\Delta) = - \int_{-\Delta_1}^{\Delta_1} \frac{1}{2\Delta} \left( \ln \frac{1}{2\Delta} \right) d\Delta = \ln(2\Delta_1), \quad (2.15)$$

где  $-\Delta_1$  и  $\Delta_1$  — интервал исследования.

Для нормального закона распределения погрешности СИ со среднеквадратическим отклонением  $\sigma$  условная энтропия

$$\begin{aligned} H_{\text{н}}(\Delta) &= - \int_{-\Delta_1}^{\Delta_1} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-\Delta^2}{2\sigma^2} \ln \left( \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-\Delta^2}{2\sigma^2} \right) d\Delta = \\ &= \ln(\sigma\sqrt{2\pi e}), \end{aligned} \quad (2.16)$$

где  $e$  — основание натурального логарифма.

Из сравнения (2.15) и (2.16) нетрудно заметить, что СИ, имеющие различные законы распределения погрешностей, могут давать одинаковое количество информации при измерении одной и той же физической величины. Для рассматриваемого случая это выполняется при  $2\Delta_1 = \sigma\sqrt{2\pi e}$ . Значит, энтропийное значение погрешности для нормального распределения составит

$$\Delta_z = 0,5\sigma\sqrt{2\pi e} = 2,076\sigma.$$

В общем случае для различных законов распределения степень дезинформационного действия погрешности принято оценивать с помощью энтропийного коэффициента  $k_z$ , который определяется отношением энтропийного значения погрешности  $\Delta_z$  к среднему квадратическому отклонению  $\sigma$  одного и того же закона:  $k_z = \Delta_z / \sigma$ . Для нормального распределения  $k_z = k_n \approx 2,076$ . Для равномерного распределения  $k_z = k_p \approx 1,73$ .

Считается, что оценка результатов измерений по энтропийному значению погрешности более точная и отвечает современному информационному подходу к характеристике процесса измерения физических величин. Информационный подход позволяет с единых позиций анализировать СИ как в статическом, так и в динамическом режимах работы, оптимизировать технические характеристики и оценить предельные возможности тех или иных СИ.

Однако классические методы оценки погрешности СИ также имеют свои преимущества и по-прежнему широко применяются в метрологии.



## ГЛАВА 3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

---

Процесс измерений можно разделить на три этапа: подготовка к измерениям, проведение измерений и обработка результатов измерений.

На первом этапе при подготовке к измерениям выбирают СИ, обеспечивающие заданную точность измерений. При этом приходится решать противоречивую задачу выбора компромисса между точностью измерения и экономическими затратами. Необоснованно высокие требования по точности могут сделать измерительную задачу неоправданно сложной и дорогостоящей.

На втором этапе процесса измерений особое внимание уделяется устранению известных систематических погрешностей.

Заключительным этапом проведения измерений является обработка результатов измерений, включающая в себя совокупность вычислительных процедур для получения оценки результата измерения и интервала, между границами которого с определенной вероятностью находится действительное значение измеряемой физической величины.

Обработка результатов измерений может проводиться различными методами. Выбор метода зависит от многих причин, основными из которых являются следующие: число проведенных отсчетов в процессе измерения; вид измерений; условия измерений; свойства используемых СИ; предварительная информация об источниках и характере погрешностей и др.

Ниже рассмотрены наиболее распространенные задачи, встречающиеся при обработке результатов измерений.

### 3.1. УСТРАНЕНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Обнаружение и устранение систематических погрешностей проводится на протяжении всего процесса измерений: при подготовке (профилактика погрешностей); в процессе измерений (экспериментальное исключение погрешностей); при обработке результатов измерений (оценка границ систематических погрешностей или внесение поправок в результат измерения).

Исключение или снижение систематических погрешностей является важной задачей, так как невыявленные систематические погрешности устойчиво искажают результат измерений и поэтому считаются более опасными по сравнению со случайными погрешностями, которые определяют достоверность результата измерения.

Если причины систематических погрешностей обнаружены, то необходимо принять меры к их устранению или исключению. Устранение обнаруженной систематической погрешности из результата измерения проводят путем введения поправки (для аддитивной погрешности) или поправочного множителя (для мультипликативной погрешности).

На первом этапе процесса измерений выявление и устранение возможных причин возникновения систематических погрешностей во многом определяются опытом оператора, пониманием им природы возникновения погрешностей, правильного выбора метода измерения и СИ. Вместе с тем, известны общие рекомендации, которыми следует руководствоваться для выявления и устранения рассматриваемых погрешностей. Ниже приведены наиболее важные рекомендации.

Для проведения измерений следует использовать только поверенные СИ. Применение на практике этого требования является наиболее простым и вместе с тем эффективным средством обнаружения и устранения постоянной систематической погрешности. В процессе поверки показания поверяемого СИ  $x_{\text{пов}}$  сравнивают с показаниями рабочего эталона  $x_{\text{эт}}$  и определяют погрешность:

$$\Delta = x_{\text{пов}} - x_{\text{эт}}.$$

Поправка в данном случае будет равна обнаруженной погрешности  $\Delta$ , взятой с противоположным знаком.

Однако даже после внесения поправки в результат измерения, полученный с помощью поверенного СИ, неисключенный остаток систематической погрешности остается. Его можно считать равным погрешности рабочего эталона.

При проведении измерений следует проводить калибровку СИ с помощью внешнего или внутреннего источника калибровочных сигналов с параметрами, заданными с высокой точностью. Для некоторых СИ, например осциллографов, эта операция проводится после каждого переключения пределов измерений, тем самым устраняется мультипликативная составляющая систематической погрешности. Аддитивная составляющая погрешности устраняется перед началом измерений, путем установки нулевых показаний.

Перед проведением измерений следует устранить факторы, определяющие возникновение погрешностей. Наиболее распространенными мероприятиями, направленными на уменьшение влияющих факторов, являются термостатирование, стабилизация источников питания СИ, амортизация СИ, удаление СИ и объекта измерений от источников влияющих воздействий и др.

На втором этапе процесса измерений, т. е. при проведении измерений, систематические погрешности исключают несколькими методами. Наибольшее распространение получили

метод замещения, метод компенсации погрешности по знаку, метод рандомизации и др.

Метод замещения состоит в такой замене измеряемой величины  $x$  известной величиной  $x_m$  (мерой), получаемой с помощью регулируемой меры, чтобы показание СИ сохранилось неизменным. Таким образом, за окончательный результат измерения принимают значение меры  $x_m$ .

При данном методе уменьшения систематических погрешностей погрешность недостаточно точного СИ устраняется, а погрешность измерения определяется только погрешностью самой меры и погрешностью отсчета измеряемой величины по указателю меры. Так как точность мер обычно выше точности используемых СИ, данный метод во многих случаях позволяет существенно повысить точность измерения. Устранение систематической погрешности методом замещения широко используется в современных цифровых приборах.

Метод компенсации погрешности по знаку (метод двух отсчетов или «вилочный» метод) используется для устранения систематической погрешности, у которой в зависимости от условий измерения изменяется только знак. При этом методе выполняются два измерения одной и той же физической величины  $x$  таким образом, чтобы систематическая погрешность  $\Delta_c$  была с разными знаками:  $x_1 = x + \Delta_c$  и  $x_2 = x - \Delta_c$ . Среднее значение из полученных результатов  $(x_1 + x_2) / 2 = x$  представляет собой окончательный результат измерения, не содержащий погрешности  $\pm \Delta_c$ . Этот метод часто используется при измерении экстремальных значений (максимума и нуля) неизвестной физической величины.

Метод симметричных наблюдений оказывается весьма эффективным при исключении прогрессивной погрешности, являющейся линейной функцией соответствующего аргумента (например, амплитуды напряжения, времени, температуры и т. д.). Измерения проводят последовательно через одинако-

вые интервалы изменения аргумента, а обработку полученных результатов осуществляют с учетом равенства среднего значения погрешности любой пары симметричных наблюдений погрешности, соответствующей средней точке данного интервала. Подобным образом удастся исключить погрешности измерений, обусловленные постепенным падением уровня напряжения источника питания и др.

Эффективным методом исключения систематической инструментальной и методической погрешности является ее рандомизация. Метод рандомизации (от англ. *random* — случайный, беспорядочный;) основан на принципе перевода систематических погрешностей в случайные. Этот метод позволяет уменьшать систематическую погрешность путем измерения некоторой физической величины рядом однотипных СИ с последующей оценкой результата измерений в виде математического ожидания (среднего арифметического значения) выполненного ряда наблюдений. В данном методе при обработке результатов измерений используются случайные изменения погрешности от прибора к прибору. Уменьшение систематической погрешности достигается и при изменении случайным образом методики и условий проведения измерений.

Поясним действие метода рандомизации простым примером. Пусть некоторая физическая величина измеряется  $n$  раз (число  $n$  достаточно велико) однотипными СИ, имеющими систематические погрешности одинакового происхождения. Для одного прибора эта погрешность — величина постоянная, но от прибора к прибору она изменяется случайным образом. Поэтому если измерить неизвестную физическую величину  $n$  приборами и затем вычислить математическое ожидание всех результатов, то значение погрешности существенно уменьшится.

На третьем этапе процесса измерения, т. е. при обработке результатов измерений, следует исходить из того, что при лю-

бых измерениях полное исключение систематической погрешности невозможно, т. е. всегда остается часть неисключенной погрешности, которая и является систематической составляющей полной погрешности измерения.

### 3.2. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Аналитически случайная погрешность измерений  $\Delta^\circ$  описывается и оценивается с помощью аппарата теории вероятностей и математической статистики.

Как и для любой случайной величины, основной характеристикой случайной погрешности является интегральный и дифференциальный законы (функции) распределения вероятностей, которые устанавливают связь между возможным значением случайной величины и вероятностью ее появления при многократных наблюдениях.

Интегральная функция (закон) распределения  $F(\Delta^\circ)$  определяет вероятность того, что случайная погрешность  $\Delta^\circ_i$  в  $i$ -ом отсчете принимает значение меньше текущего значениям  $\Delta^\circ$ :

$$P(\Delta^\circ_i < \Delta^\circ) = F(\Delta^\circ). \quad (3.1)$$

Вероятность того, что случайная величина  $\Delta^\circ$  примет значение, лежащее в интервале от  $\Delta^\circ_1$  до  $\Delta^\circ_2$ , равна разности значений функции распределения на концах этого интервала:

$$P(\Delta^\circ_1 \leq \Delta^\circ \leq \Delta^\circ_2) = F(\Delta^\circ_2) - F(\Delta^\circ_1). \quad (3.2)$$

Более наглядно свойства случайных погрешностей описываются дифференциальной функцией (законом) распределения  $f(\Delta^\circ)$ , называемой обычно плотностью распределения вероятности (или плотностью вероятности):

$$f(\Delta^\circ) = \frac{dF(\Delta^\circ)}{d\Delta^\circ}. \quad (3.3)$$

Как следует из (3.3), от дифференциальной функции распределения  $f(\Delta^\circ)$  легко перейти к интегральной функции  $F(\Delta^\circ)$  путем интегрирования:

$$F(\Delta^\circ) = \int_{-\infty}^{\Delta^\circ} f(\Delta^\circ) d\Delta^\circ. \quad (3.4)$$

Функция  $f(\Delta^\circ)$  неотрицательная и подчиняется условию нормировки

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(\Delta^\circ) d\Delta^\circ = 1.$$

Условие нормировки означает, что площадь, заключенная между кривой  $f(\Delta^\circ)$  и осью абсцисс, равна единице.

При известной функции  $f(\Delta^\circ)$  вероятность того, что случайная величина  $\Delta^\circ$  примет значение, лежащее в интервале от  $\Delta^\circ_1$  до  $\Delta^\circ_2$ , определяется выражением

$$P(\Delta^\circ_1 \leq \Delta^\circ \leq \Delta^\circ_2) = \int_{\Delta^\circ_1}^{\Delta^\circ_2} f(\Delta^\circ) d\Delta^\circ. \quad (3.5)$$

Законы распределения погрешности  $\Delta^\circ$  дают исчерпывающую информацию об этой величине, однако на практике при определении погрешности во многих случаях достаточно знать только числовые характеристики законов распределения. К таким характеристикам при описании свойств случайных погрешностей относятся начальные и центральные моменты.

Для непрерывных случайных величин  $\Delta^\circ$  начальный момент  $k$ -го порядка определяется выражением

$$m_k = \int_{-\infty}^{\infty} \Delta^{\circ k} f(\Delta^\circ) d\Delta^\circ. \quad (3.6)$$

Центральный момент  $k$ -го порядка рассчитывается по формуле

$$\mu_k = \int_{-\infty}^{\infty} (\Delta^\circ - m_1)^k f(\Delta^\circ) d\Delta^\circ, \quad (3.7)$$

где  $m_1$  — математическое ожидание случайной величины, определяемое по (3.6) при  $k = 1$ .

Второй центральный момент называется дисперсией  $D$  случайной погрешности

$$D(\Delta^\circ) = \int_{-\infty}^{\infty} (\Delta^\circ - m_1)^2 f(\Delta^\circ) d\Delta^\circ. \quad (3.8)$$

Дисперсия  $D$  характеризует рассеяние отдельных значений случайной величины относительно математического ожидания  $m_1$  (центра рассеяния). Поскольку дисперсия  $D$  имеет размерность квадрата случайной величины, то на практике используется более удобная величина — среднее квадратическое отклонение (СКО), которое имеет размерность самой измеряемой величины и определяется выражением  $\sigma(\Delta^\circ) = \sqrt{D(\Delta^\circ)}$ .

Для более подробного описания распределения случайных погрешностей могут использоваться моменты более высоких порядков.

В метрологической практике используют различные законы распределения случайной погрешности, некоторые из которых в виде дифференциальных функций  $f(\Delta^\circ)$  приведены на рис. 3.1. Однако наиболее часто при анализе случайных погрешностей в ТКС используются нормальный закон распределения вероятностей (закон Гаусса) и равномерный закон распределения вероятностей.

Широкое применение в практической метрологии нормального закона распределения объясняется центральной предельной теоремой теории вероятностей (теоремой Ляпунова). Эта теорема утверждает, что распределение случайных погрешностей будет близко к нормальному во всех случаях, когда результаты наблюдений формируются под влиянием большого числа независимо действующих факторов, каждый из которых



оказывает лишь незначительное действие по сравнению с суммарным действием всех остальных.

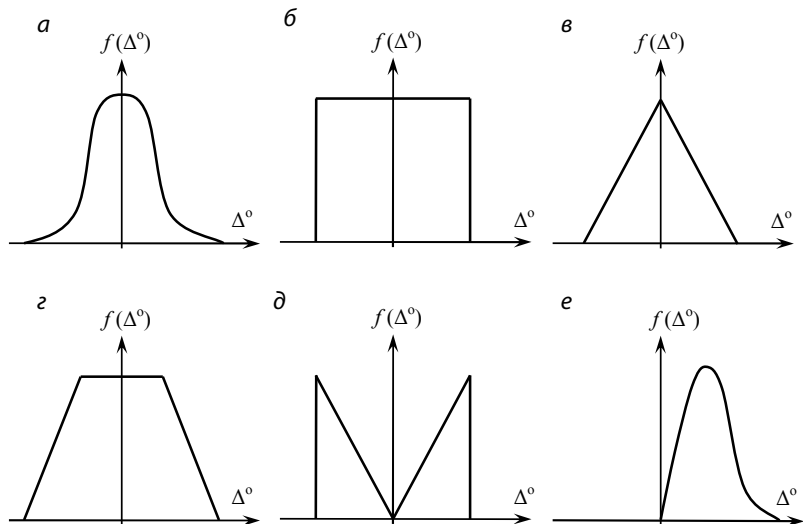


Рис. 3.1. Законы распределения плотности вероятности случайных погрешностей: *а* — нормальный; *б* — равномерный; *в* — треугольный; *г* — трапециевидный; *д* — антимодальный; *е* — Релея

Нормальный закон распределения вероятностей для случайных погрешностей применяют в случаях, когда справедливы следующие предположения:

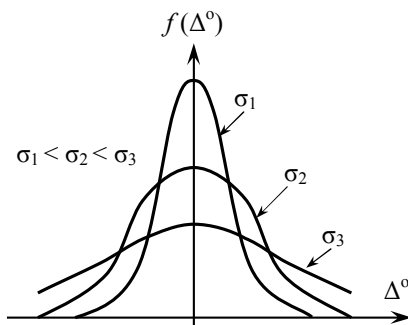
- погрешность  $\Delta^\circ$  может принимать непрерывный ряд значений в интервале  $\pm\infty$ ;
- вероятности появления погрешностей, равных по величине, но противоположных по знаку, одинаковы;
- при выполнении значительного числа измерений большие погрешности  $\Delta^\circ$  появляются реже, чем малые, а частота появления погрешностей, идентичных по абсолютной величине и противоположных по знаку, одинакова.

Для нормального закона распределения функция  $f(\Delta^\circ)$  описывается выражением

$$f(\Delta^\circ) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\Delta^{\circ 2}}{2\sigma^2}\right), \quad (3.9)$$

где  $\sigma$  — СКО погрешности.

СКО  $\sigma$  характеризует точность измерений. По мере уменьшения  $\sigma$  рассеяние случайных погрешностей  $\Delta^\circ$  относительно центра их распределения, т. е. в данном случае относительно значения  $\Delta^\circ = 0$ , уменьшается, и наоборот (рис. 3.2).



Для нормального закона распределения вероятность попадания случайной погрешности  $\Delta^\circ$  в симметричный интервал с границами от  $-\Delta^\circ_1$  до  $+\Delta^\circ_1$  определяется подстановкой (3.9) в выражение (3.5):

$$P(-\Delta^\circ_1 \leq \Delta^\circ \leq +\Delta^\circ_1) = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\Delta^\circ_1} \exp\left(-\frac{\Delta^{\circ 2}}{2\sigma^2}\right) d\Delta^\circ. \quad (3.10)$$

При практических расчетах широко применяется нормированное нормальное распределение, которое получается при переходе в выражении (3.10) от переменной  $\Delta^\circ$  к относительной переменной  $t = \Delta^\circ/\sigma$ , при этом верхний предел интегрирования заменяется на  $z = \Delta^\circ_1/\sigma$ . Правая часть равенства (3.10) в этом случае преобразуется в табулированный интеграл вероятностей  $\Phi(z)$  (функция Лапласа). В результате выражение (3.10) приобретает вид

$$P(-\Delta^{\circ}_1 \leq \Delta^{\circ} \leq +\Delta^{\circ}_1) = \Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (3.11)$$

График интеграла вероятностей  $\Phi(z)$  показан на рис. 3.3, а значения приведены в табл. 3.1. Задаваясь границей  $\Delta^{\circ}_1$  в долях  $\sigma$ , находят  $z = \Delta^{\circ}_1/\sigma$ , а затем искомую вероятность по таблицам функции  $\Phi(z)$ . При необходимости можно выполнить обратный поиск, т. е. по заданной вероятности  $\Phi(z)$  определить  $z$ , далее  $\Delta^{\circ}_1 = z\sigma$  и интервал от  $-\Delta^{\circ}_1$  до  $+\Delta^{\circ}_1$ .

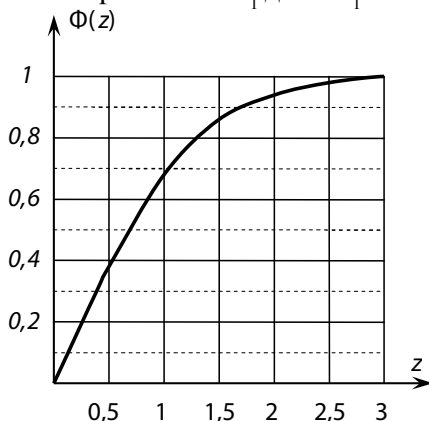


Рис. 3.3. График значений функции  $\Phi(z)$  для  $z > 0$

Вероятность  $\Phi(z) = P_d$  называется доверительной вероятностью, а назначенный интервал возможных значений погрешностей  $\pm\Delta^{\circ}_1$  — доверительным интервалом. Вероятность того, что данное измерение будет иметь погрешность, выходящую за пределы  $\pm\Delta^{\circ}_1$ , будет равна  $1 - P_d$ , а число наблюдений  $n$ , при котором в среднем одно измерение будет иметь погрешность, выходящую за пределы  $\pm\Delta^{\circ}_1$ , будет равно  $1/(1 - P_d)$ .

Значения доверительного интервала, заданного в единицах  $\sigma$ , доверительной вероятности  $P_d$  и числа измерений, при кото-

рых в среднем одно измерение имеет погрешность, выходящую за пределы доверительного интервала, приведены в табл. 3.2.

Из табл. 3.2 видно, что появление погрешности, большей или меньшей  $\pm 2\sigma/3$ , равновероятно ( $P_d = 1/2$ ), т. е. на каждые два измерения ( $n = 2$ ) одно измерение в среднем выходит за пределы доверительного интервала. Такая погрешность получила название серединной или равновероятной.

Таблица 3.1

Значение интеграла вероятностей  $\Phi(z)$ 

$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$
0,00	0,000	0,70	0,516	1,40	0,839	2,25	0,976
0,10	0,080	0,80	0,576	1,50	0,866	2,50	0,988
0,20	0,159	0,90	0,632	1,60	0,890	2,75	0,9940
0,30	0,236	1,00	0,683	1,70	0,911	3,00	0,9973
0,40	0,311	1,10	0,729	1,80	0,928	3,30	0,99903
0,50	0,338	1,20	0,770	1,90	0,943	3,50	0,99953
0,60	0,452	1,30	0,806	2,00	0,955	4,00	0,99994

Для интервала  $\Delta^\circ = \pm 3\sigma$  можно утверждать, что в 369 из 370 наблюдений с вероятностью 0,997 погрешность заключена в интервале  $\pm 3\sigma$  и лишь в одном измерении может выйти за его пределы. Эта погрешность называется предельной (максимально возможной). Таким образом, можно утверждать, что все возможные случайные погрешности измерения, распределенные по нормальному закону, практически не превышают по абсолютному значению  $3\sigma$ .

Таблица 3.2

Соотношения между доверительным интервалом, доверительной вероятностью и числом наблюдений

$\pm \Delta^\circ_1$	$-2\sigma/3 \dots +2\sigma/3$	$-\sigma \dots +\sigma$	$-2\sigma \dots +2\sigma$	$-3\sigma \dots +3\sigma$
$P_d$	0,5	0,683	0,955	0,997
$n$	2	3	22	370

При технических измерениях доверительную вероятность принято считать равной 0,95.

Очевидно, что и доверительный интервал, и доверительная вероятность связаны с числом наблюдений  $n$ : чем больше  $n$ , тем уже доверительный интервал. Однако в практике измерений в ТКС  $n > 10$  встречается редко. Для числа проведенных наблюдений  $2 < n < 20$  доверительный интервал определяется не через  $z$ , а через коэффициент  $t(n, P_d)$ , который зависит от числа наблюдений  $n$  и доверительной вероятности  $P_d$ . Закон изменения коэффициента  $t(n, P_d)$  определяется распределением Стьюдента нормированной случайной величины

$$t = \frac{\Delta^o}{\sigma} \sqrt{n}. \quad (3.12)$$

Плотность вероятности для распределения Стьюдента определяется выражением

$$f(t, n) = \frac{1}{\sqrt{\pi(n-1)}} \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-\frac{n}{2}}. \quad (3.13)$$

В выражении (3.13)  $t$  определяется по (3.12),  $n$  соответствует числу наблюдений, а  $\Gamma$  — гамма-функции (интегралы Эйлера), определяемые для аргумента  $x$  как

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt.$$

Коэффициент  $t(n, P_d)$  определяется с помощью следующей формулы:

$$P[-t(n, P_d) < t < +t(n, P_d)] = 2 \int_0^{t(n, P_d)} f(t, n) dt. \quad (3.14)$$

Значения интеграла (3.14) табулированы и приведены, например, в табл. 3.3.

При  $n \rightarrow \infty$  распределение Стьюдента стремится к нормальному распределению. Доверительный интервал находят по заданной вероятности  $P_d$  и числу наблюдений  $n$ . Например, если задано  $P_d = 0,95$  и  $n = 6$ , то из табл. 3.3 находят значение коэффициента Стьюдента  $t(n, P_d) = 2,6$  и получают  $\Delta^\circ = \pm 2,6\sigma$ .

Легко убедиться, что при использовании распределения Стьюдента доверительный интервал расширяется (по сравнению с нормальным распределением) при той же самой доверительной вероятности.

Таблица 3.3

Коэффициенты Стьюдента  $t(n, P_d)$ 

$n$	$P_d = 0,7$	$P_d = 0,8$	$P_d = 0,9$	$P_d = 0,95$	$P_d = 0,98$	$P_d = 0,99$
2	1,96	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66
3	1,34	1,89	2,92	4,30	6,97	9,93
4	1,25	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84
5	1,19	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60
6	1,16	1,48	2,02	2,62	3,37	4,03
7	1,13	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71
8	1,12	1,42	1,90	2,37	3,00	3,50
9	1,11	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36
10	1,10	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25

Наряду с нормальным распределением, при обработке результатов измерений в ТКС широко используется равномерный закон распределения плотности вероятности (рис. 3.1, б). Данный закон применяется тогда, когда случайная погрешность измерений с идентичной плотностью вероятности принимает любые значения в ограниченном интервале от  $-\Delta^\circ_{\max}$  до  $+\Delta^\circ_{\max}$ . При этом плотность вероятности погрешности  $f(\Delta^\circ)$  постоянна внутри этих границ и равна нулю вне этих границ.

Этот закон характерен для случайных погрешностей при измерении непрерывных физических величин методом дискрет-

ного счета, т. е. при преобразовании таких величин в аналого-цифровых преобразователях.

Аналитически равномерный закон распределения плотности погрешности  $f(\Delta^o)$  может быть записан следующим образом:

$$f(\Delta^o) = \begin{cases} 1/(2\Delta_{\max}^o), & \text{при } -\Delta_{\max}^o \leq \Delta^o \leq +\Delta_{\max}^o; \\ 0, & \text{при } \Delta^o < -\Delta_{\max}^o \text{ и } \Delta^o > +\Delta_{\max}^o. \end{cases} \quad (3.15)$$

Вероятность того, что случайная погрешность результатов измерений  $\Delta^o$  находится в некотором симметричном интервале, определяется выражением (3.5) при подстановке в него значения плотности вероятности  $f(\Delta^o) = 1/(2\Delta_{\max}^o)$  из (3.15):

$$P(-\Delta_1^o \leq \Delta^o \leq +\Delta_1^o) = \frac{1}{2\Delta_{\max}^o} \int_{-\Delta_1^o}^{+\Delta_1^o} d\Delta^o = \frac{\Delta_1^o}{\Delta_{\max}^o}. \quad (3.16)$$

Дисперсия  $D$  и СКО  $\sigma$  для равномерного распределения определяется выражениями:

$$D = \int_{-\Delta_1^o}^{+\Delta_1^o} \Delta^{o2} f(\Delta^o) d\Delta^o = \frac{1}{\Delta_1^o} \int_{-\Delta_1^o}^{+\Delta_1^o} \Delta^{o2} d\Delta^o = \frac{\Delta_1^{o2}}{12}, \quad (3.17)$$

$$\sigma = \frac{\Delta_1^o}{2\sqrt{3}}. \quad (3.18)$$

Например, погрешность квантования, которая обычно заключена в пределах единицы младшего разряда (от  $-1/2$  до  $+1/2$ ), характеризуется СКО  $s = 1/(2\sqrt{3}) = 0,29$  ед.

### 3.3. УСТРАНЕНИЕ ГРУБЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

При измерении физической величины среди результатов наблюдений могут появиться наблюдения, существенно отличающиеся от остальных. При этом необходимо проверить, не являются ли они грубыми погрешностями (промахами), которые следует исключить из выполненной группы наблюдений.

Исключение грубой погрешности без достаточных оснований приводит к необоснованному улучшению результата измерений. С другой стороны, неисклечение грубой погрешности, в особенности при малом числе наблюдений, исказит как действительное значение измеренной величины, так и границы доверительного интервала.

Решение данной задачи осуществляется статистическими методами теории вероятности в предположении нормального распределения результатов наблюдений и на основе использования того или иного известного критерия оценки аномальности результатов. Известно несколько таких критериев: Райта, Шовенэ, Шарлье, Романовского, Граббса и др.

Простейшим способом обнаружения грубой погрешности при нормальном законе распределения является сравнение абсолютной погрешности «подозрительного» наблюдения с максимальной погрешностью  $\Delta_{\max} = 3\sigma$ . Если абсолютная погрешность «подозрительного» наблюдения оказалась больше максимальной погрешности, то этот результат следует отбросить. Этот способ основан на том, что вероятность появления значения, отклоняющегося от среднего арифметического более чем на  $3\sigma$ , равна всего лишь 0,003 (см. п. 3.2).

Рассмотрим методику использования критерия Граббса, рекомендуемого положениями ГОСТ Р 8.736–2011. Статистический критерий Граббса исключения грубых погрешностей основан на предположении о том, что группа результатов измерений принадлежит нормальному распределению.

При исключении грубых погрешностей из результатов наблюдений по этому критерию проводят следующие операции.

Результаты группы из  $n$  наблюдений упорядочивают по возрастанию  $x_{\min} < x_1 < x_2 \dots < x_{\max}$ . Для выбранной группы (выборки) вычисляют оценки среднего арифметического значения  $\bar{x}$  и среднего квадратического отклонения наблюдений  $\sigma$  данной выборки. Для предполагаемых грубых погрешностей, которы-



ми могут быть, например, результаты  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$ , проводят расчет критериев Граббса  $G_1$  и  $G_2$ :

$$G_1 = \frac{|x_{\max} - \bar{x}|}{\sigma} \text{ и } G_2 = \frac{|\bar{x} - x_{\min}|}{\sigma}. \quad (3.19)$$

Затем задаются уровнем значимости критерия ошибки  $q$ , и по заданным величинам  $q$  и  $n$  из справочных таблиц (например, [3] или ГОСТ Р 8.736–2011) находят критическое значение критерия Граббса  $G_k$ .

Сравнивают критерии  $G_1$  и  $G_2$ , определенные по (3.19), с критическим значением  $G_k$ . Если  $G_1 > G_k$ , то  $x_{\max}$  исключают как маловероятное значение. Если  $G_2 > G_k$ , то  $x_{\min}$  исключают как маловероятное значение. Далее вновь вычисляют среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения ряда результатов измерений и процедуру проверки наличия грубых погрешностей повторяют.

Если  $G_1 \leq G_k$ , то  $x_{\max}$  не считают грубой погрешностью и сохраняют в ряду результатов измерений. Если  $G_2 \leq G_k$ , то  $x_{\min}$  не считают грубой погрешностью и сохраняют в ряду результатов измерений.

### 3.4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ ОДНОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В повседневной практике измерений в ТКС прямые однократные измерения получили широкое распространение.

Вопросы, связанные с обработкой результатов прямых однократных измерений, рассматриваются в нормативных документах в области метрологии. К основным нормативным документам, рассматривающим данный вопрос, относятся: рекомендации Р 50.2.038–2004 «ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений»; ГОСТ 8.009–84 «ГСИ. Нормируемые

метрологические характеристики средств измерений» и некоторые другие.

Порядок оценивания результатов прямых однократных измерений рассматривается с учетом требований указанных нормативных документов.

#### 3.4.1. Оценка погрешностей результатов прямых однократных измерений

Прямые однократные измерения можно проводить лишь при соблюдении следующих условий:

- объем априорной информации об объекте измерений такой, что модель объекта и определение измеряемой величины не вызывают сомнений;
- изучен метод измерения, его погрешности либо заранее устранены, либо оценены;
- СИ исправны, а их метрологические характеристики соответствуют установленным нормам.

До измерения должна быть проведена априорная оценка составляющих погрешности с использованием всех доступных данных. При определении доверительных границ погрешности результата измерений доверительная вероятность принимается, как правило, равной 0,95.

Методика, рекомендованная в Р 50.2.038—2004 «ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений», применима при выполнении следующих условий: составляющие погрешности известны, случайные составляющие погрешности распределены по нормальному закону, а неисключенные систематические погрешности, заданные своими границами, распределены равномерно.

Составляющими погрешности прямых однократных измерений являются:

- погрешности СИ, рассчитываемые по их метрологическим характеристикам;

- погрешность используемого метода измерений, определяемая на основе анализа в каждом конкретном случае;
- личная погрешность, вносимая конкретным оператором.

Если последние две составляющие не превышают 15 % погрешности СИ, то за погрешность результата однократного измерения принимают погрешность используемого СИ. Данная ситуация весьма часто имеет место на практике.

За результат прямого однократного измерения физической величины принимается показание  $x_n$ , снятое непосредственно с используемого СИ.

Оценивание погрешностей прямых однократных измерений можно подразделить на точное и приближенное.

Рассмотрим методику точной оценки. Пусть число неисключенных систематических погрешностей равно  $m$  и каждая задана границами  $\pm \Delta_{ci}$ . В этом случае доверительная граница суммарной неисключенной систематической погрешности  $\Delta_c(P_d)$  оценивается по формуле

$$\Delta_c(P_d) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta_{ci}^2}, \quad (3.20)$$

где  $k$  — поправочный коэффициент, зависящий от  $P_d$  и  $m$ .

Значение поправочного коэффициента  $k$  для различных значений  $P_d$  и  $m$  можно найти в ГОСТ Р 8.736–2011. Например, при доверительной вероятности  $P_d = 0,9$  коэффициент  $k$  принимается равным 0,95, при  $P_d = 0,95$  коэффициент  $k = 1,1$ . При  $P_d = 0,99$  поправочный коэффициент  $k = 1,45$ , если число суммируемых слагаемых  $m > 4$ .

Если каждая из известных систематических погрешностей  $m$  задана доверительными границами  $\pm \Delta_{ci}(P_i)$ , т. е. границами с известной доверительной вероятностью  $P_i = P_{di}$ , то в этом случае доверительная граница суммарной неисключенной систематической погрешности  $\Delta_c(P_d)$  оценивается по формуле

$$\Delta_c(P_d) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_{ci}^2(P_i)}{k_i^2}}, \quad (3.21)$$

где  $k_i$  — поправочный коэффициент, соответствующий  $P_i$ .

Значения поправочных коэффициентов  $k$  и  $k_i$  определяются аналогично (3.20).

Оценка доверительной границы случайной погрешности результата измерения  $\Delta^\circ$  с задаваемой доверительной вероятностью  $P_d$  выполняется в порядке, зависящем от вида представления случайных составляющих.

Если случайные составляющие погрешности измерений представлены своими СКО  $\sigma_i$ , приведенными в технической документации, то в этом случае СКО результата однократного измерения оценивают по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}, \quad (3.22)$$

где  $m$  — число случайных составляющих погрешностей.

Доверительные границы случайной погрешности результата измерения вычисляют по формуле

$$\Delta^\circ(P_d) = z(P) \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}, \quad (3.23)$$

где  $z(P)$  — аргумент функции Лапласа (см. п. 3.2).

Если случайные составляющие представлены своими СКО  $\sigma_i$ , которые были определены на основе эксперимента при числе измерений  $n < 20$ , то для этого случая

$$\Delta^\circ(P_d) = t(n, P_d) \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}, \quad (3.24)$$

где  $t(n, P_d)$  — коэффициент Стьюдента.

В случаях, когда случайные составляющие погрешности измерений представлены доверительными границами  $\pm\Delta^{\circ}_i(P)$ , соответствующими одинаковой доверительной вероятности, значение доверительных границ результата измерения следует рассчитывать по формуле

$$\Delta^{\circ}(P_d) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta^{\circ}_i{}^2}. \quad (3.25)$$

Если случайные составляющие заданы доверительными границами  $\pm\Delta^{\circ}_i(P_i)$  с различной доверительной вероятностью  $P_i$ , то  $\Delta^{\circ}(P_d)$  с задаваемой вероятностью  $P_d$  может быть найдена по выражению

$$\Delta^{\circ}(P_d) = z(P) \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Delta^{\circ}_i{}^2(P_i)}{z^2(P_i)}}, \quad (3.26)$$

где  $z(P)$  и  $z(P_i)$  — аргументы функции Лапласа

Если в процессе проведения прямых однократных измерений имеются как систематические  $\Delta_c$ , так и случайные ( $\Delta^{\circ}$ ) составляющие погрешности, то в этом случае порядок определения полной погрешности измерения зависит от соотношения  $\Delta_c(P_d)/\sigma$ .

Если  $\Delta_c(P_d)/\sigma < 0,8$ , то в качестве погрешности результата измерения принимаются доверительные границы случайных погрешностей.

Если  $\Delta_c(P_d)/\sigma > 8$ , то в качестве погрешности результата измерения принимаются доверительные границы неисключенных систематических погрешностей.

Если  $0,8 \leq \Delta_c(P_d)/\sigma \leq 8$ , то доверительную границу погрешности результата измерения вычисляют по формуле

$$\Delta(P_d) = \beta [\Delta_c(P_d) + \Delta^{\circ}(P_d)]. \quad (3.27)$$

Значения коэффициента  $\beta$  в (3.27) для доверительных вероятностей  $P_d = 0,95$  и  $P_d = 0,99$  приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Значения коэффициента  $\beta$  для  $P_d = 0,95$  и  $P_d = 0,99$

$\Delta_c(P_d)/\sigma$	0,8	1	2	3	4	5	6	7	8
$\beta, P_d = 0,95$	0,76	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81
$\beta, P_d = 0,99$	0,84	0,82	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85

Выше были рассмотрены прямые однократные измерения с точным оцениванием погрешностей. В практике также имеют место прямые однократные измерения с приближенным оцениванием погрешности. Для них характерно оценивание погрешности полученного результата на основе метрологических характеристик, приведенных в нормативно-технической документации на используемые СИ. Поскольку эти характеристики относятся к любым экземплярам данного типа СИ, то у конкретного используемого СИ действительные метрологические характеристики могут отличаться от нормированных.

Прямые однократные измерения с приближенным оцениванием погрешностей правомочны, если доказана возможность пренебрежения случайной составляющей погрешности проведенного измерения, т. е. можно обосновано считать, что граница неисключенных систематических погрешностей результата измерения больше СКО случайных погрешностей в восемь раз и более. В простейшем случае, когда влияющие величины соответствуют нормальным условиям, погрешность результата прямого однократного измерения равна пределу основной погрешности средства измерения, определяемой по нормативно-технической документации. Доверительная вероятность не указывается, но, как правило, подразумевается, что она равна 0,95. При проведении измерений в условиях, отличных от нормальных, необходимо определять и учитывать пределы дополнительных погрешностей. Возможная методи-

ка суммирования основных и дополнительных погрешностей однократных измерений приведена в источнике [3].

Во всех рассмотренных выше случаях форма представления результатов прямых однократных измерений должна соответствовать рекомендациям МИ 1317–2004 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешностей измерений. Форма представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроля их параметров».

В соответствии с рекомендациями МИ 1317–2004, результат прямого однократного измерения физической величины записывается в форме

$$x = x_{\text{п}} \pm \Delta, P_{\text{д}}. \quad (3.28)$$

#### **3.4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПО НОРМИРУЕМЫМ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

Как уже отмечалось выше, в соответствии с методикой оценивания погрешностей результатов прямых однократных измерений Р 50.2.038–2004 «ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений», если погрешность метода и оператора не превышает 15 % погрешности СИ, то за погрешность результата измерения допускается брать погрешность СИ, которую можно определить на основе их нормированных метрологических характеристик.

Методические указания, устанавливающие порядок расчета погрешностей СИ по нормируемым метрологическим характеристикам, изложены в РД 50–453–84 «Методические указания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета».

В зависимости от решаемой измерительной задачи, экономической целесообразности и имеющейся исходной информа-

ции для расчета характеристик погрешности СИ, рекомендуется использовать один из двух методов определения инструментальной составляющей погрешности  $\Delta_{ин}$ .

Первый метод (с существенной случайной составляющей основной погрешности) заключается в статистическом объединении всех составляющих погрешности СИ:

$$\Delta_{ин1} = \Delta_{co} * \Delta^{\circ}_o * \Delta^{\circ}_{oH} * \sum_{i=1}^l \Delta_{ci} * \Delta_{дин} . \quad (3.39)$$

В выражении (3.39) знак \* обозначает статистическое объединение (статистическое сложение),  $\Delta_{co}$  — систематическая составляющая основной погрешности,  $\Delta^{\circ}_o$  — случайная составляющая основной погрешности,  $\Delta^{\circ}_{oH}$  — случайная составляющая основной погрешности, обусловленная гистерезисом,  $\Delta_{дин}$  — динамическая погрешность СИ.

Слагаемое  $\sum_{i=1}^l \Delta_{ci}$  представляет собой объединение допол-

нительных погрешностей, обусловленных действием влияющих величин,  $l$  определяет число учитываемых дополнительных погрешностей.

В качестве исходных данных для расчета погрешности СИ данным методом используются три группы характеристик:

- нормированные метрологические характеристики СИ;
- характеристики влияющих величин;
- характеристики входного сигнала.

Результаты расчета погрешности СИ по указанным характеристикам сводятся в конечном счете к оцениванию интервала, в котором инструментальная составляющая погрешности находится с доверительной вероятностью меньше единицы.

Второй метод (с несущественными случайными составляющими) включает в себя расчет наибольших возможных значений погрешности СИ и не предполагает статистического объединения составляющих погрешностей.



Инструментальная погрешность  $\Delta_{\text{ин2}}$  определяется как арифметическая сумма наибольших возможных значений ее составляющих. Такой подход позволяет определить доверительный интервал, в котором искомая инструментальная погрешность  $\Delta_{\text{ин2}}$  находится с вероятностью, равной единице.

Второй метод рекомендуется использовать при наиболее ответственных измерениях.

В качестве исходных данных используются те же группы характеристик, что и в первом методе, однако для расчета используются в основном предельные и граничные значения характеристик.

Конкретные алгоритмы расчета и используемые расчетные формулы в обоих методах определяются в зависимости от известных исходных данных для расчета, условий и метода измерений и приведены в РД 50–453–84.

### 3.4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПО КЛАССУ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Рассмотренные в п. 3.3.3 методы оценивания инструментальной погрешности по нормируемым метрологическим характеристикам дают хорошие возможности для расчета погрешностей с учетом реальных условий эксплуатации СИ. Однако для большого количества СИ, находящихся в эксплуатации, погрешность определяется по классу точности в соответствии с ГОСТ 8.401–80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования».

Информация о пределе допускаемой основной погрешности конкретного СИ заложена в условных обозначениях его класса точности. Примеры обозначения классов точности приведены в табл. 3.5.

При нормировании предела допускаемой абсолютной основной погрешности по формулам (2.7) и (2.8) классы точ-

ности обозначают буквами латинского алфавита (М, С, L, ...) или римскими цифрами (I, II, III, ...). При этом более высоким классам точности соответствуют начальные буквы алфавита или меньшие числа.

Классы точности СИ, пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме относительных погрешностей по формуле (2.9), обозначаются числами в кружках, которые численно равны пределу относительной погрешности в процентах, а если используется формула (2.10), то классы точности обозначаются числами  $c$  и  $d$  (в процентах), разделенными косой чертой, например 0,05/0,02.

Классы точности СИ, пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме приведенной погрешности (2.11), обозначают арабскими цифрами или арабскими буквами с добавлением какого-либо условного знака. Значения указанных чисел равны пределу допускаемой приведенной погрешности, выраженной в процентах. Если, например, арабская цифра заключена в уголок, то в (2.11) нормирующее значение  $x_n$  определяется длиной шкалы или ее частью, соответствующей диапазону измерений.

Таблица 3.5

Примеры обозначения классов точности

Обозначение класса точности	Форма выражения предела допускаемой погрешности		
	Абсолютная, $\Delta_n$	Относительная, $\delta_n, \%$	Приведенная, $\gamma_n, \%$
<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
М С L	$\Delta_n = \pm a;$ $\Delta_n = \pm (a + bx),$ $a, b > 0$	Значение указывается в нормативно-технической документации на данный тип СИ	
Ⓢ Ⓣ (1,0)	$\Delta_n = \pm q \frac{x}{100}$	$\delta_n = \frac{\Delta_n}{x} \cdot 100 = \pm q$	$\gamma_n = \pm q \frac{x}{x_n}$

Окончание табл. 3.5

1	2	3	4
$c/d$ 0,05/0,02	$\Delta_{\text{п}} = \pm \delta_{\text{п}} \frac{x}{100}$	$\delta_{\text{п}} = \pm \left[ c + d \left( \left  \frac{x_{\text{к}}}{x} \right  - 1 \right) \right]$ $x_{\text{к}}$ — верхний предел измерений	$\text{п} = \pm \delta_{\text{п}} \frac{x}{x_{\text{н}}}$
$p$ 1,5	$\Delta_{\text{п}} = \pm p \frac{x_{\text{н}}}{100}$	$\delta_{\text{п}} = \pm p \frac{x_{\text{н}}}{x}$	$\text{п} = \frac{\Delta_{\text{п}}}{x_{\text{н}}} \cdot 100 = \pm p$ $x_{\text{н}}$ — в единицах измеряемой величины
$\bigvee_{1,0}$ $\bigvee_p$	$\Delta_{\text{п}} = \pm p \frac{x_{\text{н}}}{100}$	$\delta_{\text{п}} = \pm p \frac{x_{\text{н}}}{x}$	$\text{п} = \frac{\Delta_{\text{п}}}{x_{\text{н}}} \cdot 100 = \pm p$ $x_{\text{н}}$ — определяется длиной шкалы

Сопоставляя при одной и той же величине допускаемой абсолютной погрешности  $\Delta_{\text{п}}$  выражения (2.9) и (2.11), получим следующее соотношение между приведенной и относительной погрешностями:

$$\delta = \frac{x_{\text{н}}}{x} \gamma. \quad (3.40)$$

Из (3.40) следует, что при нормировании по приведенной погрешности относительная погрешность измерения тем меньше, чем ближе измеряемая величина к нормирующему значению. Поэтому при выборе СИ необходимо учитывать не

только класс точности, но и соотношение  $x_n/x$ . Рекомендуется пределы измерения выбирать такими, чтобы показания СИ находились ближе к верхнему пределу его поддиапазона.

### 3.5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

При эксплуатации технических средств ТКС в некоторых случаях, согласно нормативной документации, требуется проводить прямые измерения с многократными наблюдениями. Необходимость многократных наблюдений некоторой физической величины возникает при наличии в процессе измерений значительных случайных погрешностей. В этом случае задача состоит в том, чтобы по результатам наблюдений найти наилучшую оценку истинного значения и интервал, в котором находится сама измеряемая величина с заданной вероятностью. Решение задачи выполняется способом статистической обработки результатов наблюдений, основанным на гипотезе о распределении случайных погрешностей этих результатов по нормальному закону. Порядок такой обработки должен проводиться в соответствии с ГОСТ Р 8.736—2011 «ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

Приводимая ниже методика обработки результатов измерений, учитывая указанный порядок, дополнена необходимыми пояснениями и дается применительно к прямым измерениям с многократными независимыми и равноточными наблюдениями. Напомним, что равноточность предполагает выполнение экспериментатором наблюдений в одинаковых условиях и одним и тем же СИ. Формальным признаком равноточности может быть равенство СКО всех серий измерений.

Общая процедура обработки прямых многократных равноточных измерений приведена в виде алгоритма на рис. 3.4.

Исходными данными для расчетов является серия из  $n$  результатов равноточных наблюдений  $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ , а также доверительная вероятность  $P_d$ .

Точность результата многократных наблюдений тем выше, чем меньше систематическая составляющая их погрешности. Поэтому весьма важно выявление систематических погрешностей и исключение их из результатов наблюдений. Оценка наличия и, при необходимости, исключение известной систематической погрешности из результатов наблюдения основаны на знании свойств используемого СИ, метода измерения и условий измерения (см. п. 3.1).

При нормальном законе распределения погрешности  $\Delta_i$   $i$ -го измерения за истинную величину принимают ее оптимальную оценку в виде среднего арифметического значения (оценки математического ожидания) выполненного ряда наблюдений, т. е. считают, что результат измерения:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3.41)$$

Следовательно, погрешность при каждом  $i$ -ом измерении будет определяться формулой

$$\Delta_i = x_i - \bar{x}. \quad (3.42)$$

С учетом (3.42) оценка значения СКО погрешности данного ряда измерений находится по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3.43)$$

Проверка наличия и, при необходимости, исключение грубых погрешностей проводятся в соответствии с методикой, изложенной в п. 3.3.

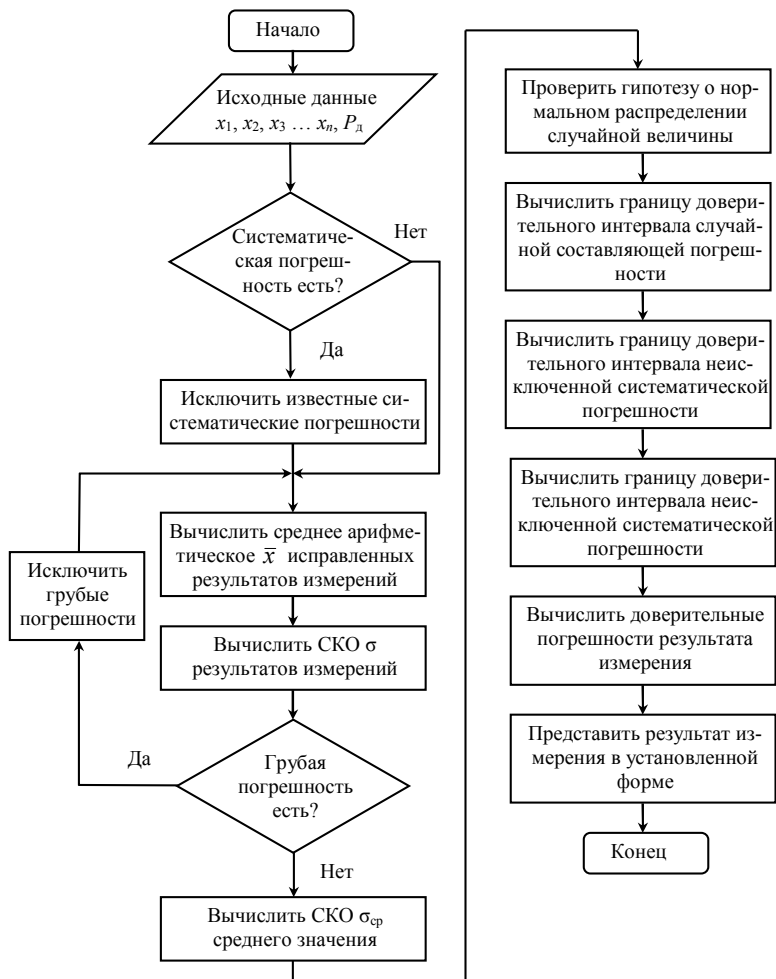


Рис. 3.4. Алгоритм обработки результатов прямых многократных равноточных измерений

При конечном значении числа наблюдений среднее арифметическое, найденное по формуле (3.41), отличается от истинного среднего арифметического, т. е.  $\bar{x}$  также является случайной величиной. В связи с этим вводят и вычисляют оценку СКО среднего арифметического результата измерения  $\sigma_{\text{ср}}$

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (3.44)$$

Значение  $\sigma_{\text{ср}}$  характеризует степень разброса  $\bar{x}$ . Так как  $\bar{x}$  выступает оценкой истинного значения измеряемой величины, т. е. является конечным результатом выполненных измерений, то  $\sigma_{\text{ср}}$  называют также средней квадратической погрешностью результата измерений.

На практике значением  $\sigma$  пользуются в тех случаях, когда нужно дать оценку точности применяемого метода измерения. Действительно, если метод точен, то разброс результатов отдельных измерений мал (мало значение  $\sigma$ ). Значение  $\sigma_{\text{ср}}$  используют для характеристики точности измерений некоторой величины, т. е. результата, полученного посредством математической обработки итогов ряда отдельных прямых измерений.

Таким образом, как следует из (3.44), при увеличении числа наблюдений (при независимости результатов) точность увеличивается пропорционально  $\sqrt{n}$ . В общем случае число наблюдений необходимо увеличивать до тех пор, пока  $\sigma_{\text{ср}}$  не станет меньше систематической погрешности.

Для нахождения доверительного интервала, в котором находится случайная погрешность измерений с заданной вероятностью, прежде всего, проводится проверка гипотезы о соответствии экспериментальных данных нормальному закону распределения вероятности результата измерения. Методики проверки указанной гипотезы общеизвестны [3]. При числе проведенных наблюдений  $n > 50$  для проверки их принадлежности к нормальному распределению предпочтительным яв-

ляется критерий  $\chi^2$  Пирсона или  $\omega^2$  Мизеса—Смирнова. При числе проведенных наблюдений  $50 > n > 15$  рекомендуется использовать составной критерий.

При подтверждении гипотезы о нормальном распределении вычисляют границы доверительного интервала случайной составляющей погрешности. Если число наблюдений  $n > 20$ , то для определения границ доверительного интервала используется интеграл вероятности (функция Лапласа)  $\Phi(z)$  (3.11). Для заданных значений  $P_d$  по табулированным значениям функции Лапласа  $\Phi(z) = P_d$  (см. табл. 3.1) находят значения  $z(P_d)$ , а учитывая, что  $z(P_d) = \Delta / \sigma_{cp}$ , границы доверительного интервала определяют по формулам:

$$x_b = \bar{x} + z(P_d)\sigma_{cp} \text{ и } x_n = \bar{x} - z(P_d)\sigma_{cp}. \quad (3.45)$$

Если число наблюдений  $n \leq 20$ , и суждение о нормальности распределения остается справедливым, то используют распределение Стьюдента. Для заданных значений  $P_d$  и  $n$  по таблицам находят значение коэффициента Стьюдента  $t(n, P_d)$ , а затем вычисляют верхнюю и нижнюю границы доверительного интервала:

$$x_b = \bar{x} + t(n, P_d)\sigma_{cp} \text{ и } x_n = \bar{x} - t(n, P_d)\sigma_{cp}. \quad (3.46)$$

При особо точных и ответственных измерениях, если гипотеза о нормальности закона распределения не подтверждается, может быть поставлена задача определения закона распределения вероятности результата измерения. Однако следует помнить, что это сложная и трудоемкая процедура.

Порядок определения границ неисключенных составляющих систематической погрешности зависит от условий эксперимента. Если имеются несколько неисключенных составляющих систематической погрешности и известны их границы  $\Delta_{ci}$ ,



а распределение этих составляющих в пределах границ принято считать равномерным, то суммарная доверительная граница определяется по формуле (3.20).

Результирующие доверительные границы погрешности результата измерений определяются в соответствии с правилами, изложенными в п. 3.4.1, по формуле (3.27).

В соответствии с ГОСТ Р 8.736–2011 «ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения» результат прямого многократного измерения при симметричном доверительном интервале погрешности результата измерения записывается в форме

$$x = \bar{x} \pm \Delta, P_d.$$

При отсутствии данных о виде функции распределения составляющих погрешности результата или при необходимости использования данных для дальнейшей обработки результатов, результат представляют в форме:  $\bar{x}$ ,  $\sigma_{cp}$ ,  $n$ ,  $\Delta$ ,  $P_d$ .

### ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ МНОГОКРАТНЫХ НЕРАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Если измерения выполняются не в одинаковых условиях, то результат отдельно взятых серий измерений нельзя считать одинаково надежным, так как в этом случае средние квадратические погрешности  $\sigma_{cp}$  для различных серий будут отличаться. Такие измерения называют неравноточными.

В качестве оценки результата измерения при неравноточных измерениях берется весовое среднее  $\bar{x}_p$  (арифметическая середина).

Если в результате многократных неравноточных измерений получены серии результатов  $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$  со средними квадратическими погрешностями  $\sigma_{cp1}, \sigma_{cp2}, \sigma_{cp3} \dots \sigma_{cpn}$ , то значение весового среднего  $\bar{x}_p$  может быть найдено по формуле

$$\bar{x}_p = \frac{\frac{1}{\sigma_{cp1}^2} x_1 + \frac{1}{\sigma_{cp2}^2} x_2 + \dots + \frac{1}{\sigma_{cpn}^2} x_n}{\frac{1}{\sigma_{cp1}^2} + \frac{1}{\sigma_{cp2}^2} + \dots + \frac{1}{\sigma_{cpn}^2}}. \quad (3.47)$$

Если в (3.47) ввести величину  $p_i = \mu^2 / \sigma_{cpi}^2$ , где  $\mu^2$  — некоторый коэффициент, то получим

$$\bar{x}_p = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_n x_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}. \quad (3.48)$$

Величину  $p_i = \mu^2 / \sigma_{cpi}^2$  называют весом результата измерения. Вес является мерой сравнения результатов при неравноточных измерениях, т. е. мерой относительной ценности полученных неравноточных результатов измерения: чем надежнее результат, тем больше его вес.

В случаях, когда значение  $\sigma_{cpi}$  неизвестно, а известно число измерений  $n$  в серии,  $\bar{x}_p$  рассчитывают по формуле

$$\bar{x}_p = \frac{n_1 \bar{x}_1 + n_2 \bar{x}_2 + \dots + n_n \bar{x}_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n}, \quad (3.49)$$

где  $\bar{x}_i$  — среднее арифметическое  $i$ -й серии измерений.

Средняя квадратическая погрешность  $\sigma_{cp}$  единицы веса при неравноточных измерениях определяется по формуле

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_p)^2 p_i}, \quad (3.50)$$

а средняя квадратическая погрешность среднего весового значения:

$$\sigma_{cp\bar{x}} = \sigma_{cp} / \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i}. \quad (3.51)$$

### 3.6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

При косвенных измерениях значение искомой величины  $Y$  получают на основании известной зависимости  $f$ , связывающей ее с другими величинами  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , полученными с помощью прямых измерений:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (3.52)$$

Наиболее часто потребность в оценке погрешностей косвенных измерений в ТКС возникает при косвенном измерении энергетических и силовых величин или параметров элементов и цепей устройств ТКС. Кроме того, такая задача может возникнуть в случаях, когда прямопоказывающий прибор не может быть подключен непосредственно к объекту измерения, а включается через некоторые промежуточные элементы, параметры которых определены или известны с некоторыми погрешностями.

Если величины  $x_1, x_2, \dots, x_n$  измерены с абсолютными погрешностями  $\Delta_{x_1}, \Delta_{x_2}, \dots, \Delta_{x_n}$ , то результат вычисления величины  $Y$  также будет содержать погрешность  $\Delta(Y)$ , т. е.

$$Y = Y_0 \pm \Delta(Y) = f(x_1 \pm \Delta_{x_1}, x_2 \pm \Delta_{x_2}, \dots, x_n \pm \Delta_{x_n}), \quad (3.53)$$

где  $Y_0$  — оценка результата косвенного измерения.

Таким образом, из (3.53) следует, что задача определения погрешности косвенных измерений сводится к задаче определения погрешности функции  $f$  при известных значениях погрешностей аргумента.

Методика обработки результатов косвенных измерений изложена в документе МИ 2083–90 «ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей». В нем рассмотрены случаи линейной и нелинейной функции  $f$  в (3.52) при отсутствии и наличии статисти-

ческой связи (корреляции) между погрешностями измерений аргументов. Приводится критерий проверки гипотезы об отсутствии указанной корреляции.

При линейной функциональной зависимости между измеряемой величиной  $Y$  и измеряемыми аргументами  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , выражение (3.52) в общем виде представляет собой сумму

$$Y = \sum_{i=1}^n b_i x_i, \quad (3.54)$$

где  $b_i$  — постоянный коэффициент для  $i$ -го аргумента.

В случае нелинейной зависимости между измеряемой величиной  $Y$  и измеряемыми аргументами  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , выражение (3.52) имеет вид произведения некоторых функций  $f_i$

$$Y = \prod_{i=1}^n f_i(x_i). \quad (3.55)$$

Статистическая связь (корреляция) между погрешностями измерений аргументов  $x_k$  и  $x_h$  функциональной зависимости  $f$  количественно характеризуется коэффициентом корреляции  $r_k$ , который вычисляется по формуле

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_k)(x_{hi} - \bar{x}_h)}{\sigma_k \sigma_h}. \quad (3.56)$$

Возможные значения коэффициента корреляции  $r_k$  лежат в интервале от  $-1$  до  $+1$ . Если  $r_k = 0$ , то погрешности измерений аргументов функции  $f$  статистически не связаны между собой (некоррелированы). Коэффициент корреляции  $r_k = \pm 1$  тогда и только тогда, когда между аргументами существует полная статистическая связь, т. е. аргументы связаны линейной функциональной зависимостью.

Корреляция между погрешностями измерений аргументов чаще всего возникает в тех случаях, когда измерения выполняются одновременно и изменения влияющих величин (температуры воздуха, напряжения питания и т. д.) оказывают некоторое влияние на результаты измерений. Если же аргументы измеряют в разное время и для их измерений применяют разные СИ, то нет оснований ожидать появления корреляции между погрешностями этих измерений.

При нелинейных зависимостях (3.55) и некоррелированных погрешностях аргументов ( $r_k = 0$ ) для нахождения погрешности функции  $f$  используется метод линеаризации, который предполагает разложение нелинейной функции  $f$  в ряд Тейлора [3].

При разложении (3.53) в ряд Тейлора (оставив только члены первого порядка) получим

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \Delta_{x_i} + R, \quad (3.57)$$

где  $R$  — остаточный член ряда.

Из (3.57) следует, что оценка результата косвенного измерения  $Y_0$

$$Y_0 = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3.58)$$

а погрешность

$$\Delta(Y) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \Delta_{x_i} + R. \quad (3.59)$$

Если величины  $\Delta_{x_i}$  малы, а их произведения и квадраты дают значения второго порядка малости, то остаточным членом  $R$  пренебрегают. Более подробно условия исключения  $R$  приведены в МИ 2083–90.

Напомним, что  $\Delta_{x_i}$  в (3.53), (3.57), (3.59) могут иметь смысл как систематических  $\Delta_{ci}$ , так и случайных  $\Delta_i^o$  составляющих погрешности.

Если погрешности аргументов имеют характер систематических погрешностей и заданы границами  $\pm \Delta_{ci}$ , то доверительные границы неисключенной систематической погрешности  $\Delta_c(P_d)$  результата косвенных измерений с вероятностью  $P_d$  вычисляют по формуле:

$$\Delta_c(P_d) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \Delta_{ci}^2}. \quad (3.60)$$

Поправочный коэффициент  $k$  в (3.60) определяется так же, как и в (3.20).

В случае, когда границы неисключенных систематических погрешностей результатов измерений аргументов заданы доверительными границами  $\pm \Delta_{ci}(P_i)$ , границы неисключенной систематической погрешности результата косвенных измерений вычисляют по формуле

$$\Delta_c(P_d) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \frac{\Delta_{ci}^2(P_i)}{k_i^2}}. \quad (3.61)$$

Поправочные коэффициенты  $k$  и  $k_i$  в (3.61) определяются так же, как и в (3.20).

Если погрешности аргументов имеют характер случайных погрешностей, то СКО случайной погрешности результата косвенных измерений  $\sigma(Y_0)$  вычисляют по формуле

$$\sigma(Y_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma^2(x_i)}, \quad (3.62)$$

где  $\sigma^2(x_i)$  — СКО результата измерений аргумента  $x_i$ .

Доверительные границы случайной погрешности результата косвенных измерений  $\Delta^o(P_d)$  при условии, что распределение погрешностей результатов измерений всех аргументов имеет нормальный закон, вычисляют по формуле

$$\Delta^{\circ}(P_d) = t(n, P_d) \sigma(Y_0). \quad (3.63)$$

Значение коэффициента Стьюдента  $t(n, P_d)$  в (3.63) выбирается для числа измерений  $n = f_3 + 1$ . Эффективное число степеней свободы распределения Стьюдента  $f_3$  определяется выражением

$$f_3 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma^2(x_i) \right]^2 - 2 \left[ \sum_{i=1}^m \frac{1}{n_i + 1} \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^4 \sigma^4(x_i) \right]}{\left[ \sum_{i=1}^m \frac{1}{n_i + 1} \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^4 \sigma^4(x_i) \right]}, \quad (3.64)$$

где  $n_i$  — число измерений при определении аргумента  $x_i$ .

Если результат измерения аргументов содержит систематические и случайные составляющие погрешности, то в этом случае погрешность результата косвенных измерений оценивается на основе композиции распределений случайных и систематических погрешностей и зависит от соотношения  $\Delta_c(P_d) / \sigma(Y_0)$ . Методика определения погрешности результата косвенного измерения аналогична методике оценивания погрешности результата прямого измерения, определяемой соотношением  $\Delta_c(P_d) / \sigma$  и рассмотренной в п. 3.4.1.

В случае, когда функциональная зависимость имеет линейный характер (3.54)

$$Y = \sum_{i=1}^n b_i x_i = b_1 x_1 + b_2 x_2 \dots b_n x_n$$

и коэффициент корреляции  $r_k = 0$ , результат косвенных измерений  $Y_0$  вычисляется следующим образом:

$$Y_0 = \sum_{i=1}^n b_i \bar{x}_i. \quad (3.65)$$

Систематические и случайные погрешности косвенного измерения в этом случае рассчитывают по формулам (3.60), (3.61), (3.62), (3.63), заменяя частные производные на соответствующие коэффициенты  $b_1, b_2, \dots, b_n$ .

При наличии корреляции ( $r_k \neq 0$ ) между погрешностями измерений аргументов для определения результатов косвенных измерений и их погрешностей рекомендуется использовать метод приведения ряда отдельных значений косвенно измеряемой величины к ряду прямых измерений (МИ 2083–90).

Этот метод предполагает согласованное многократное измерение  $m$  аргументов ( $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1L}; x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2L}; x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mL}$ ), которые функционально связаны с измеряемой величиной  $Y$  уравнением (3.52). Полученные сочетания отдельных результатов измерений аргументов подставляют в формулу (3.52) и вычисляют отдельные значения искомой величины  $Y_1, Y_2, \dots, Y_L$ . Результат косвенных измерений вычисляют по формуле

$$Y_0 = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L Y_i. \quad (3.66)$$

СКО случайных погрешностей результата косвенных измерений  $\sigma(Y_0)$  и доверительные границы случайных погрешностей  $\Delta^\circ(P_d)$  в этом случае определяют по формулам

$$\sigma(Y_0) = \sqrt{\frac{1}{L(L-1)} \sum_{i=1}^L (Y_i - Y_0)^2}, \quad (3.67)$$

$$\Delta^\circ(P_d) = T \sigma(Y_0). \quad (3.68)$$

Коэффициент  $T$  в (3.68) выбирается, согласно МИ 2083–90, исходя из вида распределения отдельных значений измеряемой величины  $Y$  и выбранной доверительной вероятности  $P_d$ .



Границы неисключенной систематической погрешности определяются по тем же правилам, что и при отсутствии корреляции между погрешностями измерений аргументов.

В заключение отметим, что при однократных измерениях аргументов процедура определения результата косвенно измеряемой величины  $Y$  сохраняется такой же, как и при многократных измерениях.

## **ГЛАВА 4. ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

---

При проведении измерений требуется обеспечить их единство, что необходимо для достижения сопоставимых результатов измерений одних и тех же параметров, выполненных в разное время и в различных местах, с помощью разных методов и средств.

Под единством измерений понимают состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и они обеспечиваются с помощью единообразных СИ, а погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

На достижение и поддержание на должном уровне единства измерений направлена деятельность государственных и ведомственных метрологических служб, проводимая в соответствии с установленными правилами, требованиями, нормами и порядками.

### **4.1. Законодательство РФ об обеспечении ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

Правовую основу обеспечения единства измерений в РФ составляют Конституция РФ, Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», принимаемые в соответствии с ним федеральные законы и иные нормативно-правовые акты РФ.

В статье 71 Конституции РФ зафиксировано, что в ведении РФ находятся стандарты, эталоны, метрическая система и исчисление времени. Тем самым за основными вопросами метрологии закреплено централизованное государственное руководство.

Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений в России в целях:

- обеспечения доверия к результатам измерений, защиты прав и законных интересов граждан, индивидуальных предпринимателей, юридических лиц и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений;
- обеспечения потребностей государства и общества в получении объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений, используемых при принятии решений для защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, обеспечения обороны, безопасности государства, в том числе экономической, рационального использования природных ресурсов;
- создания условий для расширения внешнеэкономических связей РФ, признания результатов измерений иностранными государствами и повышения конкурентоспособности продукции, работ и услуг.

Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» регулирует отношения, возникающие при разработке, принятии и исполнении как обязательных требований, так и требований на добровольной основе к следующим позициям: проведению измерений; результатам измерений; единицам величин; эталонам единиц величин; средствам измерений; методам и методикам выполнения измерений; оценке соответствия требованиям; осуществлении деятельности в области обеспечения единства измерений.

Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется на измерения, к результа-

там которых установлены обязательные требования и которые проводятся при:

- осуществлении деятельности в области здравоохранения;
- осуществлении ветеринарной деятельности;
- проведении работ по мониторингу и представлении информации о состоянии и загрязнении природной окружающей среды;
- осуществлении деятельности по обеспечению безопасности при чрезвычайных ситуациях;
- выполнении работ по обеспечению безопасности труда;
- оптовой и розничной торговле;
- осуществлении деятельности по добыче полезных ископаемых;
- выполнении государственных учетных операций;
- выполнении почтовых операций и операций по учету объемов оказанных услуг связи и объемов трафика;
- осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства;
- осуществлении геодезической и картографической деятельности;
- осуществлении деятельности в области гидрометеорологии;
- проведении банковских операций, налоговых и таможенных операций;
- выполнении работ по оценке соответствия требованиям технических регламентов;
- регистрации национальных и международных спортивных рекордов;
- проведении измерений по поручению органов судов, прокуратуры, государственных органов исполнительной власти.

Обязательные требования к результатам измерений устанавливаются законодательством РФ о техническом регулировании, иными федеральными законами, нормативными правовыми актами Президента и правительства РФ.

Обеспечение единства измерений осуществляется в соответствии со следующими принципами:

- применения на территории РФ и на находящихся под юрисдикцией РФ территориях установленных единиц величин;

- обеспечения прослеживаемости передачи размера единиц величин от государственного первичного эталона единиц величин к другим эталонам единиц величин и СИ;

- применения единой системы и правил обеспечения единства измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений;

- соответствия деятельности по обеспечению единства измерений уровню развития национальной экономики, развития материально-технической базы, а также уровню научно-технического развития;

- недопустимости ограничения конкуренции при проведении испытаний, поверке, калибровке СИ, а также аттестации методик выполнения измерений;

- недопустимости внебюджетного финансирования государственного метрологического надзора;

- гармонизации обязательных требований по обеспечению единства измерений и форм оценки соответствия данным требованиям с международными документами по метрологии;

- открытости и доступности информации в области обеспечения единства измерений, за исключением случаев, предусмотренных законодательством РФ.

В целях обеспечения единства измерений при осуществлении международного экономического и научно-технического сотрудничества РФ взаимодействует с международными и региональными организациями по метрологии.

Признание в РФ результатов оценки соответствия СИ и аккредитации на проведение работ в области обеспечения единства измерений, выполняемых иностранными юридиче-

скими лицами, а также зарубежных методик выполнения измерений, осуществляется на основании межгосударственных договоров.

## 4.2. НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Национальная система обеспечения единства измерений (НСОЕИ) — это совокупность правил выполнения работ по обеспечению единства измерений, ее участников и правил функционирования системы обеспечения единства измерений в целом. Структура НСОЕИ и ее участники представлены на рис. 4.1.

Федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений (ФОИВ по НПР), решает следующие задачи:

- разрабатывает государственную политику и осуществляет нормативно-правовое регулирование в области обеспечения единства измерений;
- организует разработку и реализацию программ развития средств и методов обеспечения единства измерений;
- координирует проведение работ по обеспечению единства измерений, в том числе между федеральными органами исполнительной власти;
- организует и осуществляет взаимодействие с органами государственной власти иностранных государств и международными (региональными) организациями по вопросам обеспечения единства измерений;
- участвует в деятельности международных (региональных) организаций по вопросам обеспечения единства измерений, является официальным представителем РФ в международных (региональных) организациях.

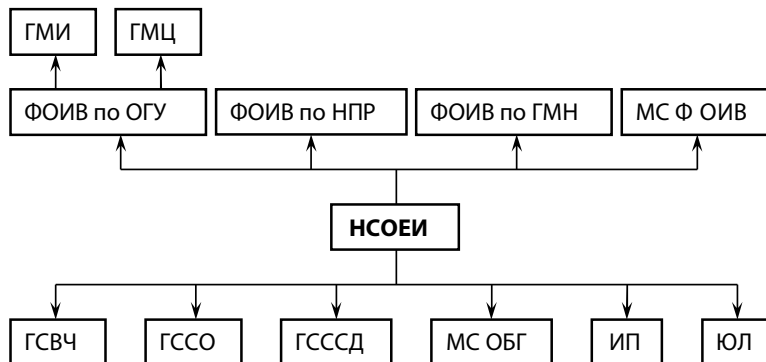


Рис. 4.1. Структура национальной системы обеспечения единства измерений

Федеральный орган исполнительной власти, реализующий функции по оказанию государственных услуг в сфере метрологии (ФОМВ по ОГУ), осуществляет:

- организацию ведения государственных реестров и представление сведений из этих реестров;
- обеспечение проведения международных сличений государственных первичных эталонов единиц величин;
- организацию и обеспечение проведения обязательной метрологической экспертизы;
- обеспечение создания единой информационной системы и ведение Федерального информационного фонда в области обеспечения единства измерений и представление информации, содержащейся в них;
- выдачу заключений об отнесении устройств к СИ;
- руководство подведомственными организациями.

В непосредственном подчинении ФОИВ по ОГУ находятся государственные метрологические институты и государственные метрологические центры. Государственные метрологические институты (ГМИ) выполняют следующие функции:

- проводят фундаментальные и научно-прикладные исследования в области обеспечения единства измерений;
- участвуют в разработке проектов нормативных правовых актов в области обеспечения единства измерений;
- разрабатывают проекты национальных стандартов в области обеспечения единства измерений;
- осуществляют создание, разработку, хранение и применение государственных первичных эталонов единиц величин, находящихся в федеральной собственности;
- проводят сличение государственных первичных эталонов единиц величин, находящихся в федеральной собственности, а также поверку вторичных эталонов и других рабочих эталонов, находящихся в федеральной собственности;
- ведут государственные реестры в области обеспечения единства измерений и представляют сведения из этих реестров;
- проводят обязательную метрологическую экспертизу.

ГМИ имеют определенную специализацию и расположены в различных регионах РФ.

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС), г. Москва, является центром государственных эталонов в области измерения средних давлений и параметров качества обработанных поверхностей.

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) (п. Менделеево Московской области) возглавляет ГСВЧ и специализируется на измерении времени и частоты, радиотехнических, акустических и гидродинамических измерениях, измерениях ионизирующих излучений, высоких давлений, температур и др. Во ВНИИФТРИ хранятся около 30 государственных эталонов.

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева (ВНИИМ), г. Санкт-Петербург, является основным хранителем государственных эталонов



в РФ (более 50 эталонов). ВНИИМ специализируется на измерении масс, длин, углов, малых давлений, электрических и магнитных величин и др.

Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии (ВНИИР), г. Казань. Специализация — измерение расхода, вместимости жидкостей и газов, свойств и состава нефтепродуктов.

Сибирский государственный научно-исследовательский институт метрологии (СНИИМ), г. Новосибирск. Специализация — измерение параметров электрических цепей, электромагнитных характеристик материалов на высоких и сверхвысоких частотах и др.

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических измерений (ВНИИФТИ), г. Хабаровск. Специализация — неразрушающий контроль качества материалов и изделий.

Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВСНИИФТРИ), г. Иркутск. Входит в ВНИИФТРИ и является второй эталонной базой ГСВЧ.

Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (ВНИИОФИ), г. Москва. Специализация — оптические, оптико-физические, лазерные, медицинские и другие измерения.

Государственные метрологические центры (ГМЦ) осуществляют поверку исходных эталонов юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, аккредитованных на проведение поверки СИ, а также отдельных видов СИ, утвержденных Правительством РФ.

Федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по государственному метрологическому надзору в сфере метрологии (ФОИВ по ГМН), осуществляет надзор за: — применением установленных единиц величин;

- соблюдением установленного порядка разработки, утверждения, хранения, применения, продажи и передачи государственных первичных эталонов единиц величин;
- применением и состоянием СИ, соблюдением требований технических регламентов к СИ и к их эксплуатации;
- наличием и применением аттестованных методик выполнения измерений;
- количеством фасованного товара в упаковках при их расфасовке и продаже.

Государственным метрологическим надзором (ГМН) занимаются также другие уполномоченные Правительством РФ органы исполнительной власти, осуществляющие функции по государственному контролю (надзору) в установленной сфере деятельности (Госторгинспекция, Санэпидемнадзор и др.).

Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ) осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по обеспечению единства измерений времени, частоты и определения параметров вращения Земли. ГСВЧ возглавляет Всероссийский НИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ).

Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО) осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по разработке и внедрению стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов в целях обеспечения единства измерений на основе их применения. ГССО возглавляет Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ), г. Екатеринбург.

Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД) осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по разработке и внедрению стандартных

справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов в науке и технике в целях обеспечения единства измерений на основе их применения. ГСССД возглавляет Всероссийский научно-исследовательский центр стандартизации, информации и сертификации сырья, материалов и веществ (ВНИЦСМВ), г. Москва.

Метрологические службы федеральных органов исполнительной власти (МС ФОИВ) могут создаваться по мере необходимости, в соответствии с решением Правительства РФ.

Положения о метрологических службах утверждаются руководителями федеральных органов исполнительной власти по согласованию с ФОИВ по НПР. Надзор за деятельностью МС ФОИВ осуществляется ФОИВ по ГМН в порядке, утвержденном Правительством РФ.

В области обороны и безопасности государства создание метрологических служб, обеспечивающих единство измерений, является обязательным. Положения о метрологических службах в области обороны и безопасности государства (МС ОБГ) утверждаются руководителями соответствующих федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих функции по нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Координацию деятельности по обеспечению единства измерений в области обороны и безопасности государства осуществляет федеральный орган исполнительной власти, выполняющий функции по выработке и реализации государственной политики, нормативно-правовому регулированию в области обороны.

Особенности обеспечения единства измерений в области обороны и безопасности государства устанавливаются Правительством РФ.

Основные функции метрологической службы в сфере обороны:

- разработка и применение метрологических правил, положений, норм;
- осуществление метрологического контроля и надзора;
- проведение метрологической экспертизы;
- военно-метрологическое сопровождение разработки, производства и испытаний военной техники;
- обеспечение развития СИ военного назначения;
- проведение военно-научных исследований, НИР и ОКР в области метрологического обеспечения обороны;
- подготовка и повышение квалификации метрологов.

В настоящее время Метрологическая служба Вооруженных Сил РФ оснащена достаточным количеством мобильных военных эталонов. В необходимых случаях некоторые военные эталоны могут быть использованы как государственные.

В воинских частях (учреждениях) контроль и надзор за метрологическим обеспечением осуществляют штатные (или внештатные) начальники метрологических служб.

Юридические лица (ЮЛ) и индивидуальные предприниматели (ИП), осуществляющие деятельность в области обеспечения единства измерений в сфере государственного регулирования, могут быть аккредитованы на выполнение следующих работ:

- испытания СИ в целях утверждения их типа;
- аттестация стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов в целях утверждения их типа;
- подтверждение соответствия СИ;
- поверка СМ;
- аттестация методик выполнения измерений.

Аккредитация ЮЛ и ИП на выполнение работ по подтверждению соответствия СИ проводится в порядке, установленном законодательством РФ о техническом регулировании.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели, выполняющие работы по обеспечению единства измерений

вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут быть аккредитованы в добровольном порядке на выполнение работ по калибровке СИ и метрологической экспертизе.

Юридические лица, объединения юридических лиц могут в добровольном порядке создавать метрологические службы для выполнения работ по обеспечению единства измерений. Права и обязанности метрологических служб определяются их руководителями.

В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений ответственность за организацию работ по обеспечению единства измерений и за нарушение законодательства РФ об обеспечении единства измерений несут руководители юридических лиц и индивидуальные предприниматели.

### **4.3. ВИДЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

Действующая в РФ Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) как организационная, научно-техническая и нормативно-правовая система предусматривает большое количество мероприятий различного характера, направленных на обеспечение и поддержание необходимого уровня единства измерений. Рассмотрим некоторые из них.

#### **4.3.1. ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

При проведении измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, на территории РФ должны применяться СИ, соответствующие требованиям технических регламентов и прошедшие оценку соответствия.

Требования технических регламентов к СИ устанавливают с учетом требований к результатам измерений. При этом в технических регламентах могут содержаться требования не только к СИ в целом, а и к их составным частям, в том числе к про-

граммному обеспечению. Технические регламенты могут содержать правила оценки соответствия, предельные сроки оценки соответствия, требования к терминологии, маркировке СИ и правилам их нанесения, а также требования по обеспечению ограничения доступа к узлам регулировки внутренних элементов конструкции СИ и защите измерительной информации.

Возможные формы оценки соответствия СИ (кроме стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (СОССВМ)) представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Формы оценки соответствия средств измерений

Период жизненного цикла СИ	Форма оценки соответствия
До выпуска СИ в обращение (при разработке, при ввозе на территорию РФ)	Утверждение типа
При выпуске СИ в обращение (при выпуске из производства, при ввозе на территорию РФ)	Подтверждение соответствия и первичная поверка
При выпуске СИ из ремонта	Поверка
При обращении на рынке, в том числе эксплуатации СИ	Поверка с соблюдением установленного интервала между поверками и государственный метрологический надзор

Оценка соответствия СОССВМ в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений проводится в двух формах:

- до выпуска СОССВМ в обращение — в форме утверждения типа;
- при выпуске СОССВМ в обращение — в форме подтверждения соответствия.

#### 4.3.2. УТВЕРЖДЕНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Утверждение типа средств измерений (кроме СОССВМ) осуществляется на основании положительных результатов испытаний. Утверждение типа СОССВМ осуществляется на основании положительных результатов аттестации.

Испытания СИ (кроме СОССВМ) или аттестацию СОССВМ в целях утверждения их типа проводят юридические лица и индивидуальные предприниматели, аккредитованные в установленном порядке на проведение данных работ.

Порядок проведения испытаний СИ (кроме СОССВМ) и порядок аттестации СОССВМ утверждаются ФОИВ по НПР в области обеспечения единства измерений.

Утверждение типа СИ, в том числе СОССВМ, проводит ФОИВ по ГМН в сфере метрологии в порядке, утвержденном ФОИВ по НПР в области обеспечения единства измерений.

При утверждении типа СИ (кроме СОССВМ) устанавливаются интервал между поверками и методика поверки. В течение срока действия документа об утверждении типа СИ интервал между поверками может быть изменен ФОИВ по ГМН в сфере метрологии, а порядок установления и изменения интервала между поверками СИ утверждается ФОИВ по НПР в области обеспечения единства измерений.

Решение об утверждении типа СИ, в том числе СОССВМ, удостоверяется документом об утверждении типа. Срок действия документа об утверждении типа определяется по результатам проведения испытаний СИ (кроме СОССВМ) или аттестации СОССВМ в порядке, установленном ФОИВ по НПР в области обеспечения единства измерений.

На каждый экземпляр СИ утвержденного типа, а также на сопроводительные документы наносится знак утверждения типа. Сведения об утвержденных типах СИ вносятся в Государственный реестр средств измерений. Сведения об утверж-

денных типах СОССВМ вносятся в Государственный реестр СОССВМ. Указанные государственные реестры ведет **ФОИВ** по ОГУ в сфере метрологии, а порядок ведения реестров и представления сведений определяет **ФОИВ** по НПР в области обеспечения единства измерений.

#### 4.3.3. АТТЕСТАЦИЯ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Методика выполнения измерений — это совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результата измерений с установленной погрешностью.

Требования к проведению измерений с применением аттестованных методик, а также требования к методикам выполнения измерений устанавливаются законодательством РФ о техническом регулировании.

Порядок аттестации методик выполнения измерений утверждается **ФОИВ** по НПР в области обеспечения единства измерений.

Аттестация методик выполнения измерений проводится:

- на соответствие установленным требованиям к результатам измерений;
- собственно к методикам выполнения измерений.

В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений аттестацию методик выполнения измерений проводят юридические лица и индивидуальные предприниматели, аккредитованные в установленном порядке на выполнение работ по аттестации методик выполнения измерений. Результаты аттестации удостоверяются документом об аттестации методики выполнения измерений. Сведения об аттестованных методиках выполнения измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели представляют в **ФОИВ** по ОГУ в сфере метрологии для внесения в Государственный реестр аттестованных методик выполнения измерений. Поряд-



док ведения реестра и представления сведений, содержащихся в реестре, определяет **ФОИВ по НПР**.

Вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений в добровольном порядке могут применяться аттестованные методики выполнения измерений, стандартизованные методики выполнения измерений, методики выполнения измерений, сертифицированные в добровольном порядке, а также разработанные юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями. В качестве основы для разработки методик выполнения измерений юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями полностью или частично могут использоваться международные и национальные стандарты, а также стандарты организаций. Добровольная сертификация методик выполнения измерений проводится в соответствии с законодательством РФ о техническом регулировании.

#### 4.3.4. ПОВЕРКА И КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Одной из главных форм государственного метрологического надзора и ведомственного контроля, направленных на обеспечение единства измерений в РФ, является поверка СИ. Основные требования к организации и порядку проведения поверки СИ установлены ГОСТ «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения».

Поверка СИ — это совокупность операций, заключающаяся в установлении пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и контроля их соответствия предъявляемым требованиям.

Калибровка СИ — это совокупность операций, выполняемых с целью определения действительных значений метрологических характеристик СИ.

Основной метрологической характеристикой, определяемой при поверке СИ, является его погрешность. Она на-

ходится на основании сравнения поверяемого СИ с более точным СИ — рабочим эталоном. В отдельных случаях при поверке вместо определения значений погрешностей проверяют, находится ли погрешность в допустимых пределах. Пригодным к применению в течение определенного межповерочного интервала времени признают те СИ, поверка которых подтверждает их соответствие метрологическим и техническим требованиям к данному СИ. СИ, признанное годным к применению, оформляется выдачей свидетельства о поверке, нанесением поверительного клейма или иными способами, устанавливаемыми нормативно-техническими документами.

Поверку вторичных эталонов, исходных эталонов юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, аккредитованных на проведение поверки СИ, а также отдельных видов СИ, имеющих наиболее важное значение для обеспечения единства измерений в целях защиты интересов граждан, обеспечения безопасности страны и ее экономических интересов, организует федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по оказанию государственных услуг в сфере метрологии. Перечень таких видов СИ устанавливается Правительством РФ.

Поверку остальных СИ проводят юридические лица и индивидуальные предприниматели, аккредитованные в установленном порядке на проведение поверки СИ.

Порядок проведения поверки утверждается ФОИВ по НПР в области обеспечения единства измерений.

Лица, осуществляющие поверку СИ, подлежат аттестации в соответствии с порядком, утвержденным ФОИВ по НПР в области обеспечения единства измерений.

Аттестацию лиц, осуществляющих поверку СИ, проводит ФОИВ по ГМН в сфере метрологии.

В процессе эксплуатации СИ могут в добровольном порядке подлежать как поверке, так и калибровке.

В качестве основы для разработки порядка выполнения калибровочных работ полностью или частично может использоваться порядок, установленный международными, национальными стандартами, стандартами организаций.

Калибровка СИ проводится с использованием эталонов единиц величин, требования к которым установлены Законом «Об обеспечении единства измерений».

СИ подвергаются первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверкам.

Первичной поверке подвергаются СИ при выпуске из производства или ремонта, а также СИ, поступающие по импорту. Первичной поверке подлежит, как правило, каждый экземпляр СИ. Допускается и выборочная поверка.

Периодической поверке подлежат СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении, через определенные межповерочные интервалы, установленные с расчетом обеспечения пригодности к применению СИ на период между поверками. Межповерочный интервал и методика поверки данного типа СИ устанавливаются при утверждении его типа.

Инспекционную поверку производят для выявления пригодности к применению СИ при осуществлении госнадзора и ведомственного метрологического контроля за состоянием и применением СИ.

Экспертная поверка СИ проводится в объеме, необходимом для обоснования заключения экспертизы по метрологическим характеристикам, исправности СИ и пригодности их к применению. Экспертная поверка проводится в следующих случаях:

- по требованию государственного арбитража, прокуратуры, суда;
- по письменному заявлению организаций или граждан при возникновении спорных вопросов.

По результатам экспертной поверки составляется экспертное заключение.

Организационно-технической основой поверки СИ является правильная организация воспроизведения и передачи размера единицы величин от эталонов рабочим СИ.

Прямая передача размеров единиц физических величин от первичных эталонов рабочим СИ затруднена, поэтому на практике процедура передачи размеров единиц осуществляется с использованием рабочих эталонов в соответствии с государственными (иерархическими) поверочными схемами. Поверочная схема — это утвержденный в установленном порядке нормативный документ, определяющий соподчиненность различных СИ (включая эталоны), участвующих в передаче размеров единицы, с указанием метода и точности передачи. Государственные поверочные (иерархические) схемы подлежат утверждению в порядке, установленном ФОИВ по НПР в области обеспечения единства измерений. Сведения об утвержденных государственных поверочных (иерархических) схемах вносятся в реестр Государственных первичных эталонов единиц величин.

Государственная поверочная схема распространяется на все СИ данной физической величины, имеющиеся в стране. Она оформляется в виде государственного стандарта, который должен включать в себя чертеж поверочной схемы и необходимую текстовую часть.

При организации локальных поверочных схем используются исходные эталоны, т. е. эталоны юридического лица или индивидуального предпринимателя. Пример компоновки локальной поверочной схемы для СИ времени и частоты показан на рис. 4.2.

Локальные поверочные схемы не должны противоречить государственным поверочным схемам для тех же физических величин, однако они могут быть разработаны и при отсутствии государственной поверочной схемы.

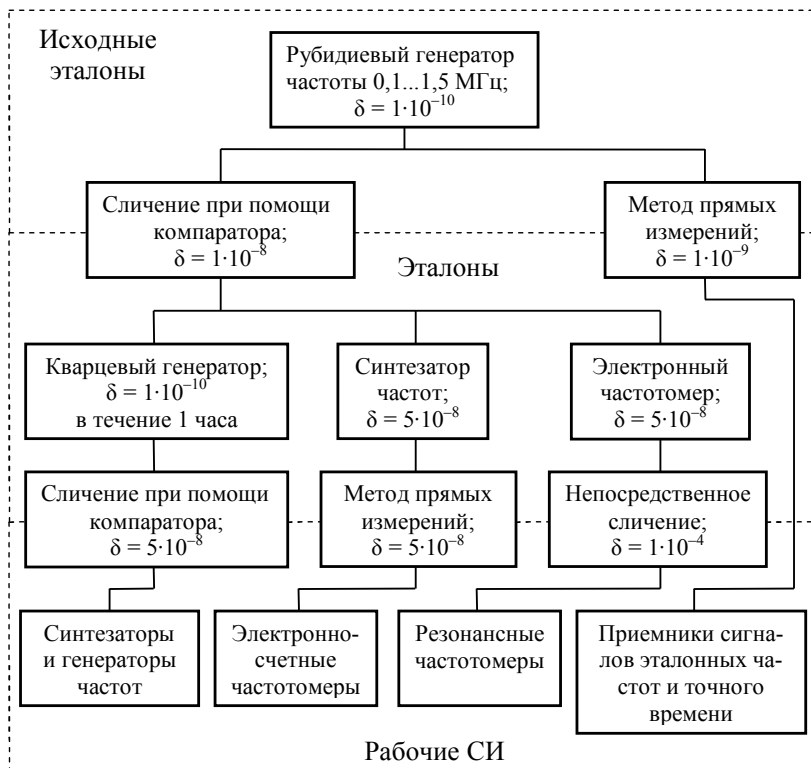


Рис. 4.2. Локальная поверочная схема для СИ времени и частоты

Локальные схемы являются составной частью государственной схемы, возглавляемой Государственным эталоном. Многоступенчатая система передачи информации о размере единиц, основанная на централизованном воспроизведении единиц, считается недостаточно эффективной. На каждой ступени передачи информации о размере единицы теряется точность. Перспективным считается децентрализованный способ воспроизведения единиц.

## ГЛАВА 5. ОЦЕНИВАНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

---

Понятие «качество продукции» (в количественном смысле), до сравнительно недавнего времени практически не использовалось в технических областях науки. Связано это с тем, что отсутствовали теория и прикладные методики достоверного количественного выражения (оценивания) качества продукции.

Необходимость такого оценивания возникает при решении целого ряда задач:

- при выборе лучшего решения из двух или большего числа вариантов (проекта продукции, технологического оборудования, организации технологического процесса и др.);
- при управлении качеством (проектирования, производственного процесса, продукции и т. д.);
- при решении технико-экономических задач, в которых нужно учитывать не только количественные, но и качественные факторы (например, функциональные, экологические, эргономические, и др.), не выражаемые в денежных единицах измерения.

Область науки, предметом которой являются количественные методы оценки и анализа качества объектов (продукции), называется квалиметрией.

На сегодняшний день в квалиметрии разработано несколько подходов к количественной оценке качества. Наиболее широко распространенные из них описываются далее применительно к продукции приборостроения.

## 5.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КВАЛИМЕТРИИ

В квалиметрии качество рассматривается как свойство или совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению.

С технико-экономических позиций принято рассматривать также понятие «качество продукции», охватывающее только те свойства, которые связаны с возможностью продукции удовлетворять определенные общественные или личные потребности.

С позиций оценивания качества промышленная продукция подразделяется на две группы: продукция, расходуемая при использовании (сырье, природное топливо, материалы, продукты, расходные изделия); продукция, расходующая свой ресурс (ремонтируемые и неремонтируемые изделия). В основу дальнейшего рассмотрения возьмем вторую группу продукции, куда входят и изделия ТКС различного назначения.

Свойство продукции — это объективная особенность продукции, проявляющаяся при ее создании, эксплуатации или потреблении.

Показатель качества продукции — это качественная характеристика одного или нескольких свойств, входящих в состав качества продукции, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания, эксплуатации или потребления.

По числу характеризующих свойств принято различать единичные и комплексные показатели.

Единичный показатель качества продукции — это показатель, характеризующий только одно из свойств продукции, а комплексный показатель — показатель, характеризующий несколько ее свойств. Разновидностью комплексного показателя качества (КПК) являются обобщенный, интегральный и групповой показатели качества.

Обобщенный КПК — это показатель, характеризующий такую совокупность свойств, по которым оценивается качество продукции.

Интегральный КПК характеризует отношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации или потребления продукции к суммарным затратам на ее создание, эксплуатацию или потребление.

Групповой КПК — это показатель, характеризующий одну группу свойств продукции.

Показатель качества продукции называют определяющим, если он используется для принятия решения при оценивании ее качества.

В целом структуру показателей качества объекта следует считать многоуровневой. На нижнем уровне находятся единичные показатели. Показатели качества следующего, более высокого уровня являются комплексными показателями, отражающими качество определенной группы свойств объекта. На верхнем уровне может быть единый обобщенный комплексный показатель качества объекта, определяющий качество объекта в целом.

Комплексные показатели качества (КПК) могут быть связаны с единичными через функциональные зависимости, отражающие их объективные взаимосвязи. Так, примером комплексного показателя надежности изделия ТКС в установившемся режиме может служить коэффициент готовности  $K_r$ , отражающий свойства безотказности через наработку на отказ ( $T_o$ ) и свойство ремонтпригодности через среднее время восстановления ( $T_b$ ):

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_b}. \quad (5.1)$$

В случае, когда комплексный показатель качества выразить через единичные показатели с использованием объективных



функциональных зависимостей не удастся, применяют субъективный способ образования комплексных показателей по принципу среднего взвешенного. В этом случае комплексный показатель качества  $K$  определяется как некоторая заданная функция оценок единичных показателей  $y_1, y_2, \dots y_n$  и весовых коэффициентов  $a_1, a_2, \dots a_n$ :

$$K = f(y_1, y_2, \dots y_n, a_1, a_2, \dots a_n). \quad (5.2)$$

С помощью весовых коэффициентов  $a_i$  учитывается важность каждого единичного показателя  $y_i$ . Весовые коэффициенты обычно определяются экспертным методом.

Используют следующие математические модели комплексных показателей качества: средневзвешенное арифметическое, средневзвешенное квадратическое, средневзвешенное геометрическое, средневзвешенное гармоническое. Аналитический вид указанных моделей приведен в источнике [3].

По характеризующим свойствам продукции различают следующие показатели: назначения, надежности, экономические, эргономические, эстетические, технологические, транспортабельности, экологические, безопасности, стандартизации и унификации, патентно-правовые. Дадим им краткую характеристику.

Показатели назначения характеризуют свойства изделия, определяющие основные функции, для выполнения которых оно предназначено. Для изделий ТКС к показателям назначения можно отнести конструктивные показатели (габаритные размеры, массу), условия эксплуатации (температурный диапазон, влажность, устойчивость к механическим воздействиям) и др.

Показатели надежности характеризуют свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки на отказ. Ука-

занные свойства характеризуются безотказностью, ремонтно-пригодностью и сохраняемостью. Показатели надежности находят широкое применение при оценке качества изделий ТКС в процессе их эксплуатации.

Экономические показатели (материалоемкость, трудоемкость, техническая себестоимость, цена изделия, эффект от эксплуатации) характеризуют свойства изделия, отражающие его техническое совершенство по уровню или степени потребляемых им сырья, материалов, топлива, трудовых ресурсов при эксплуатации.

Эргономические показатели определяют соответствие изделия эргономическим требованиям, предъявляемым к его размерам, форме, к взаимному расположению элементов конструкции и др., т. е. тем требованиям, которые определяют удобство работы человека с этим изделием. Эргономические показатели характеризуют систему «человек-изделие» и учитывают комплекс гигиенических, антропометрических, физиологических и психологических свойств человека, проявляющихся в процессе производства и эксплуатации.

Эстетические показатели характеризуют информационную выразительность, рациональность формы, условность композиции, совершенство производственного исполнения изделия. Эстетические показатели рассматривают соответствие художественно-конструкторского решения функциональному назначению и инженерно-технической сущности изделия.

Показатели технологичности характеризуют степень эффективности принятых при разработке изделия конструктивно-технологических решений. К таким показателям относят совокупность свойств изделия, влияющих на затраты труда, средств, материалов и времени при технической подготовке и изготовлении изделия. Примером показателей технологичности являются удельный вес материалов и способов их обработки, удельный вес методов сборки и др.

Показатели транспортабельности характеризуют приспособленность изделия к транспортированию, не сопровождающемуся его использованием или потреблением. В качестве показателей транспортабельности могут выступать средняя продолжительность (средняя трудоемкость) подготовки изделия к транспортированию; средняя продолжительность установки изделия на средство транспортирования конкретного вида и др.

Экологические показатели характеризуют уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации или потреблении продукции.

Показатели безопасности характеризуют особенности изделия, определяющие при его эксплуатации безопасность обслуживающего персонала.

Показатели стандартизации и унификации характеризуют насыщенность изделия стандартами, унифицированными и оригинальными составными частями, а также уровень унификации с другими изделиями.

Патентно-правовые показатели характеризуют степень обновления технических решений, используемых в изделии, их патентную защиту, а также возможность беспрепятственной реализации изделия в стране и за рубежом.

Единичные или комплексные показатели качества характеризуют уровень качества объекта относительно одного свойства объекта или совокупности его свойств, но окончательного решения о качестве исследуемого объекта они не дают. Действительно, что можно сказать о надежности объекта, если его коэффициент готовности  $K_r = 0,9$ ? Высокая эта надежность или низкая? Для того чтобы ответить на этот вопрос, нужно, очевидно, ввести какой-то критерий оценивания.

Критерий оценивания качества — это руководящее правило, вытекающее из принятых концепций и принципов оценивания, реализуемое при принятии того или иного решения

о качестве исследуемого объекта. Критерий — это отличительный признак, мерило оценивания.

При оценивании качества объекта, описываемого  $m$ -мерным векторным показателем, используют три класса критериев: критерии пригодности  $G$ , критерии оптимальности  $O$ , критерии превосходства  $S$ . Математическая формулировка указанных критериев приведена в источнике [3].

Следует заметить, что критерий превосходства  $S$  является частным случаем критерия оптимальности  $O$ . В свою очередь, критерий оптимальности является частным случаем критерия пригодности  $G$ , следовательно, при оценивании качества критерий пригодности может рассматриваться как доминирующий.

## 5.2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

В теории и практике оценивания качества продукции используют различные методы определения показателей ее качества, которые можно разделить на две группы — эвристические и неэвристические.

Эвристические методы — это субъективные методы, в основе которых лежат сбор и обработка экспертных данных. Эти методы принято разделять по двум классификационным признакам [3]: в зависимости от характера информации, получаемой от экспертов, — органолептические и социологические методы; в зависимости от вида информации — экспертные методы, экспертно-статистические и методы эвристической классификации.

Органолептические методы определения показателей качества предполагают использование органов чувств экспертов: зрения, слуха, обоняния, осязания, вкуса. Эти методы распространены в медицине, пищевой и парфюмерной промышленности.

Социологические методы используют опросы населения или отдельных его социальных групп. Эти методы широко используют, например, при определении качества изделий широкого потребления.

Экспертные методы предполагают чаще всего использование экспертов для определения коэффициентов весомости единичных показателей качества.

Экспертно-статистические методы решают задачу определения показателей качества продукции на основе достаточно большой выборки объектов, по которой строят математическую модель комплексного показателя качества для объектов определенного назначения.

Методы эвристической классификации заключаются в разбиении экспертами группы объектов на несколько классов. Объекты каждого класса имеют равные комплексные показатели, определенные в балльной системе. Полученные баллы и соответствующие им наборы значений единичных показателей используют для определения границ классов в пространстве единичных показателей.

Неэвристические методы определения показателей качества основаны на использовании выявленных взаимосвязей между параметрами продукции, ее индивидуальных показателей или других объективных данных об этих значениях. Это измерительный, регистрационный и расчетный методы.

Измерительный метод — это объективный метод определения показателей качества. Он является наиболее распространенным и реализуется на основе использования технических средств измерений.

Регистрационный метод осуществляется на основе наблюдений и подсчете числа определенных событий. Он широко используется при определении значений показателей надежности, например наработки на отказ, среднего времени восстановления и др.

Расчетный (математический) метод реализуется на основе использования известных теоретических и эмпирических зависимостей показателей качества продукции от ее параметров. Под параметром здесь понимается признак продукции, количественно характеризующий любые ее свойства или состояния.

Приступая к рассмотрению методов оценивания качества продукции, отметим смысл понятий «оценивание» и «оценка» качества. Оценивание качества — это процедура принятия решения о качестве. Оценка качества — это числовая характеристика показателя качества, получаемая опытным путем или с помощью расчетов с использованием модели показателя качества. Процесс оценивания обычно состоит из трех этапов. На первом этапе уточняется номенклатура показателей качества. На втором этапе определяются значения этих показателей. На третьем этапе проводится собственно оценивание по критерию пригодности, оптимальности или превосходства.

В зависимости от используемых для сравнения единичных или комплексных показателей качества выделяют два метода оценивания качества: дифференцированный и комплексный. При дифференцированном методе, применяемом в основном при оценивании главного качества, оцениваются единичные показатели объекта. При использовании комплексного метода, применяемого в большинстве случаев, оцениваются комплексные показатели качества. Комплексное оценивание качества можно рассматривать как двухэтапный процесс, включающий оценивание простых свойств и оценивание сложных свойств или качества объекта в целом.

В некоторых случаях используется так называемый смешанный метод оценивания качества. Он основан на совместном применении единичных и комплексных показателей качества и обычно применяется, когда КПК недостаточно полно учитывает все существенные свойства продукции.

В качестве примера рассмотрим особенности комплексного метода оценивания качества продукции на основе экспертного определения показателей качества. Алгоритм определения КПК промышленных изделий и, в частности, устройств ТКС данным методом зависит от целей и задач, а также от точности оценивания. Известные обобщенные алгоритмы носят лишь рекомендательный характер. Вместе с тем в большинстве случаев при нахождении количественных значений КПК изделий приходится проводить следующие основные процедуры:

- выбор математической модели КПК;
- определение совокупности единичных показателей качества и их оценок;
- определение состава и проверка согласованности экспертов;
- ранжирование единичных показателей качества;
- определение оценок (значений) коэффициентов весомости.

КПК должен быть репрезентативным, т. е. должен учитывать все основные параметры, определяющие качество изделия. При этом должна быть предусмотрена возможность учета комплексным показателем коэффициента (множителя) «вето», принимающего значение, равное нулю, когда хотя бы один из основных показателей качества недопустимо занижается или выходит за допустимые границы.

Изменение любого из выбранных индивидуальных показателей качества должно приводить к изменению КПК при фиксированных значениях остальных показателей, выбранных для комплексного оценивания, т. е. комплексный показатель должен обладать определенной индивидуальной чувствительностью.

Совокупность (система) единичных показателей качества может быть задана или может выбираться экспертами. При экспертном оценивании отдельные показатели могут быть ис-

ключены как незначимые или, наоборот, экспертами могут быть добавлены новые показатели. Процедура принятия решения о составе единичных показателей качества экспертами может быть открытой и закрытой.

Принципиально важным при комплексном оценивании качества изделий по комплексным показателям является правильное определение значений оценок единичных показателей качества. Для решения этой задачи обычно выбирается некоторое гипотетическое нормирующее изделие, имеющее наилучшие значения показателей качества среди аналогов. Такое изделие иногда называют идеальным аналогом.

При определении состава экспертной комиссии должны быть отобраны высококвалифицированные эксперты, способные принимать объективные решения. При необходимости может проводиться предварительное специальное обучение экспертов методике проведения экспертизы.

Оценивание качества эксперта может проводиться различными методами.

Показателем качества эксперта могут служить различные документы и данные, характеризующие его профессиональную деятельность: число публикаций по рассматриваемой проблематике, ученая степень, занимаемая должность и др.

В качестве показателя квалификации эксперта могут рассматриваться результаты его участия в аналогичных экспертизах. Количественно качество эксперта в данном случае может определяться отношением числа случаев, когда мнение эксперта совпало с результатами экспертизы, к общему числу экспертиз, в которых он участвовал.

Достаточно эффективным считается метод оценивания качества эксперта на основе непротиворечивости его суждений в процессе проведения экспертизы, например методом парных совпадений. Для определения степени непротиворечивости выявляется число высказанных экспертом противоречивых



суждений  $\gamma$  и максимально возможное число противоречивых суждений  $\gamma_{\max}$ . Коэффициент непротиворечивости суждений эксперта  $\eta$  определяется по формуле [3]:

$$\eta = 1 - \gamma / \gamma_{\max}.$$

На заключительном этапе формирования комиссии находит применение также метод самооценивания или взаимооценивания. При этом методе каждый член предполагаемой экспертной комиссии за ограниченное время отвечает на вопросы анкеты и сравнивает их с правильными ответами. Сравнение результатов может быть возложено на членов аналитической группы по организации и проведению экспертизы.

Хорошо подобранная экспертная комиссия обычно работает согласованно. Степень согласованности — важный показатель проведения экспертизы. Согласованность мнений экспертов принято оценивать по коэффициенту конкордации  $W$ , позволяющему получить итоговую оценку, используя количественные оценки каждого эксперта в отдельности при оценивании определенного набора факторов:

$$W = \frac{12S}{N^2(n^3 - n)}, \quad (5.3)$$

где  $N$  — число экспертов в группе;

$n$  — число оцениваемых факторов.

Значение  $S$  в (5.3) вычисляется по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^N r_{ij} - \bar{r} \right)^2, \quad (5.4)$$

где  $r_{iN}$  — ранг, присваиваемый  $N$ -ым экспертом  $i$ -му объекту.

Значение  $W$  изменяется от 1 при полной согласованности мнений экспертов до 0, когда согласованность мнений отсутствует. Согласованность считается хорошей при  $W = 0,7...0,8$ .

Если при проведении экспертизы допускаются одинаковые оценки экспертов (связные ранги), то коэффициент конкордации рассчитывается по следующей формуле [3]:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} N^2 (n^3 - n) - N \sum_{i=1}^N M_i}. \quad (5.5)$$

Значение  $M_i$  в (5.5) рассчитывается по выражению

$$M_i = \frac{1}{12} \sum_l (t^3 - t),$$

где  $l$  — число групп одинаковых рангов в расстановке  $i$ -го эксперта;

$t$  — число повторений одинакового ранга в  $i$ -ой группе.

Для того чтобы убедиться, что согласованность экспертов, определяемая по коэффициенту конкордации  $W$ , не является случайной, проводится оценивание значимости коэффициента  $W$  по критерию  $\chi^2$  (хи-квадрат). Значение  $\chi^2$  выбирают из специальных таблиц в зависимости от принятой доверительной вероятности и числа степеней свободы  $\gamma = i - 1$ , а значимость коэффициента конкордации определяется неравенством:

$$(n - 1) NW > \chi^2. \quad (5.6)$$

Одной из распространенных задач, решаемых экспертами, является задача ранжирования объектов. Экспертное ранжирование представляет собой процедуру расстановки объектов оценивания в порядке предпочтения на основе одного или нескольких показателей сравнения. Ранжирование объектов проводится по шкале порядка.

В зависимости от вида отношений между объектами возможны два варианта упорядочения.

Первый вариант — когда среди объектов нет одинаковых (эквивалентных) по сравниваемым показателям. В этом случае между объектами существует отношение строгого порядка

$$a_1 > a_2 > \dots > a_n,$$

т. е. объект с первым номером является наиболее предпочтительным из всех  $n$  объектов. Упорядочению объектов соответствует упорядочение чисел  $x_1 > x_2 > \dots > x_n$ . Возможна и обратная последовательность  $x_1 < x_2 < \dots < x_n$ . Числа  $x_1, x_2, \dots, x_n$  в этом случае называются рангами и обозначаются  $r_1, r_2, \dots, r_n$ .

Второй вариант — когда кроме отношений строгого порядка между объектами имеется отношение эквивалентности.

В данном случае для отношений строгого порядка наиболее предпочтительному объекту присваивается ранг, равный единице, второму — ранг, равный двум, и т. д., а для эквивалентных объектов назначаются одинаковые ранги. Так, например,  $r_2 = r_3 = r_4 = (2 + 3 + 4) / 3 = 3$  или  $r_9 = r_{10} = (9 + 10) / 2 = 9,5$ . Одинаковые ранги, равные среднему арифметическому значению, называются связными рангами.

При групповом экспертном ранжировании каждый  $s$ -й эксперт присваивает каждому  $i$ -му объекту ранг  $r_{is}$ . В результате экспертизы получается матрица  $\|r_{is}\|$  размерности  $N \cdot K$ , где  $N$  — число экспертов,  $K$  — число объектов,  $s = \overline{1, N}$ ,  $i = \overline{1, K}$ .

Если ранжирование объектов осуществляется одним экспертом, то матрица имеет аналогичный вид, но вместо экспертов в соответствующих графах указываются показатели.

Процедура ранжирования объектов может быть проведена методом последовательного, попарного или множественного сопоставления.

Экспертный метод последовательного сопоставления предполагает последовательную корректировку оценок, указанных экспертами.

Порядок последовательного сопоставления может быть представлен следующим образом [3].

1. Проводится ранжирование, т. е. объекты располагаются в порядке их предпочтения. Эксперт указывает предпочтительные числовые оценки  $\varphi(a_i)$  для каждого объекта. Наиболее предпочтительному объекту обычно приписывается оценка 1, а всем остальным — от 1 до 0 в порядке уменьшения их относительной значимости.

2. Первый объект сопоставляется с совокупностью всех остальных. Если  $a_1$  предпочтительнее, то эксперт корректирует оценку так, чтобы

$$\varphi(a_1) > \sum_{i=2}^n \varphi(a_i).$$

В противном случае оценка (результат измерения или весовой коэффициент) первого объекта корректируется в сторону уменьшения так, чтобы она оказалась меньше суммы остальных объектов:

$$\varphi(a_1) \leq \sum_{i=2}^n \varphi(a_i).$$

3. Сопоставляется второй объект с совокупностью всех остальных, стоящих ниже рангом. Процедура сопоставления аналогична рассмотренной для первого объекта  $a_1$ . Процесс сопоставления далее продолжается до последнего объекта.

4. Полученные оценки нормируются, т. е. делятся на общую сумму оценок. Они принимают значения от 0 до 1, а их сумма равна 1.

Экспертный метод последовательного сопоставления успешно применяется при измерениях по шкале отношений. В этом случае определяется наиболее предпочтительная (максимальная) оценка. Для всех остальных оценок эксперт указывает, во сколько раз они менее предпочтительны, чем максимальная.

Экспертный метод парного сопоставления представляет собой процедуру установления предпочтения объектов при сравнении всех возможных пар.

Парное сопоставление является измерением в порядковой шкале. В результате сравнения пары объектов  $a_i$  и  $a_j$ , эксперт высказывает одно из трех возможных суждений:  $a_i > a_j$ ,  $a_i < a_j$ ,  $a_i = a_j$ . Этим суждениям соответствуют числовые представления  $\varphi(a_i)$ :  $\varphi(a_i) > \varphi(a_j)$ ,  $\varphi(a_i) < \varphi(a_j)$ ,  $\varphi(a_i) = \varphi(a_j)$ .

Результаты сравнения всех пар объектов принято представлять в виде матрицы. Числа, заполняющие матрицу, могут быть получены по одному из следующих трех правил [3]:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i \geq a_j; \\ 0, & \text{если } a_i < a_j; \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{если } a_i \geq a_j; \\ 1, & \text{если } a_i = a_j; \\ 0, & \text{если } a_i < a_j; \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{если } a_i \geq a_j; \\ 0, & \text{если } a_i = a_j; \\ -1, & \text{если } a_i < a_j. \end{cases}$$

Если сравнение пар объектов осуществляет группа экспертов, то каждый эксперт составляет свою таблицу результатов парных сравнений.

Экспертный метод множественного сравнения отличается от метода парного сравнения тем, что экспертами устанавливаются предпочтения не между парами объектов, а между тройками, четверками и т. д.

Узловым вопросом комплексного оценивания качества является определение значений весовых коэффициентов  $a_i$  единичных показателей качества. Весовые коэффициенты выбираются обычно в виде положительных и нормированных величин, т. е. сумма весовых коэффициентов всех  $n$  единичных показателей качества принимается равной постоянной величине (обычно равной 1, 10, 100).

Количественные значения весовых коэффициентов можно получить на основе результатов ранжирования или провести их непосредственный расчет.

В первом случае после ранжирования объектов оценивания значение  $i$ -го коэффициента весомости определяется с использованием полученных значений  $r_{ij}$ :

$$a_i = \frac{\sum_j^N r_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N r_{ij}}. \quad (5.7)$$

Экспертный метод непосредственного оценивания единичных показателей качества заключается в определении значений показателей качества непосредственно в установленных единицах. Такое оценивание может проводиться по шкале интервалов или шкале порядка. Процесс оценивания начинается с расстановки объектов в порядке убывания их важности. При этом показателю, стоящему на первом месте, присваивается максимальная весомость, а показателю, стоящему на последнем месте, — минимальная весомость.

Коэффициенты весомости рассчитывают на основе оценок, полученных  $j$ -м экспертом для  $i$ -го коэффициента весомости  $a_{ij}$ :

$$a_i = \frac{\sum_j^N a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N a_{ij}}. \quad (5.8)$$

Пример: мнения шести экспертов о десяти единичных показателях качества изделия представлены в табл. 5.1. Построить ранжированный ряд единичных показателей качества и определить весовые коэффициенты.

Суммируя ранги для каждого показателя качества, имеем

$$P_3 < P_1 < P_4 < P_5 < P_2 < P_8 < P_9 < P_6 < P_{10} < P_7.$$

В соответствии с (5.7) находим

$$a_1 = 0,036; a_2 = 0,093; a_3 = 0,023; a_4 = 0,070; a_5 = 0,076;$$

$$a_6 = 0,146; a_7 = 0,163; a_8 = 0,016; a_9 = 0,120; a_{10} = 0,153.$$

Таблица 5.1

Результаты работы экспертов

Единичный показатель качества (ЕПК)	Результаты ранжирования ЕПК экспертом						Сумма рангов
	1	2	3	4	5	6	
$P_1$	2	2	1	3	1	2	11
$P_2$	5	7	1	2	3	10	28
$P_3$	1	1	1	1	2	1	7
$P_4$	3	3	2	4	5	4	21
$P_5$	7	5	2	5	4	3	23
$P_6$	8	8	5	7	8	8	44
$P_7$	9	9	5	8	9	9	49
$P_8$	6	6	4	6	7	6	35
$P_9$	7	4	2	10	6	7	36
$P_{10}$	10	10	3	9	10	5	46

### 5.3. ОЦЕНИВАНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА СТАДИИ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Качество изделия устанавливается при проектировании, проектное требование по качеству реализуется при изготовлении и поддерживается, а при необходимости и восстанавливается, при эксплуатации. Следовательно, систему управления качеством можно рассматривать как комплексную систему, реализующуюся на трех последовательных стадиях: проектирование, производство, эксплуатация.

На стадии проектирования задача управления качеством состоит в установлении по совокупности показателей качества необходимого уровня качества изделия и в создании нормативно-технической документации (НТД), являющейся основой для обеспечения качества в процессе производства.

Установление уровня качества — это сложная противоречивая задача, которая решается последовательно при подготовке технического задания на изделие (ТЗ), при разработке технического проекта (ТП) и уточняется во время опытных конструкторских работ (ОКР) (рис. 5.1).

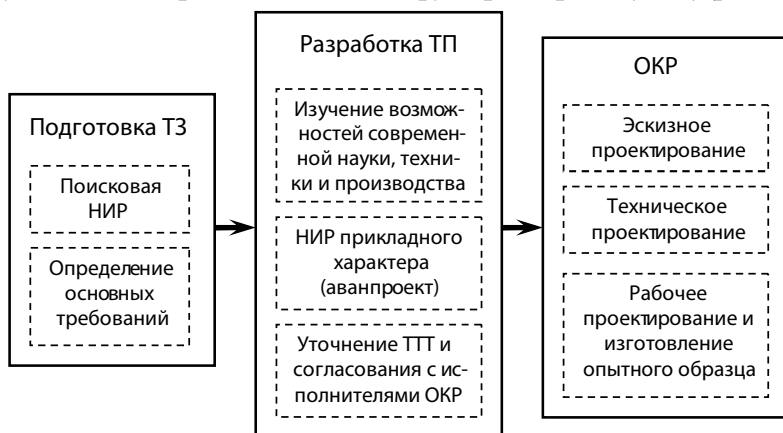


Рис. 5.1. Содержание основных работ на стадии проектирования



Во время поисковой НИР и аванпроекта рассматриваются возможные альтернативные варианты изделия и оценивается их реализуемость. Установленные показатели качества оформляются в виде тактико-технических требований (ТТТ) к изделию, которые в дальнейшем уточняют и согласовывают с исполнителями ОКР.

При проведении ОКР, предусматривающих обычно эскизное, техническое и рабочее проектирование, решение по обеспечению номинального уровня качества принимается на основании расчетов и специальных испытаний. При этом на стадии эскизного проектирования проводится ориентировочная оценка показателей качества, при техническом проектировании эта оценка уточняется, проверка и оценка показателей уровня качества проводятся по результатам рабочего проектирования.

На этапе проектирования для обеспечения номинальных показателей качества устройств ТКС обычно проводят следующие виды работ: оптимизацию электрических схем по количеству и режиму работы радиоэлектронных элементов; повышение устойчивости схем к изменению параметров элементов; создание средств диагностирования, прогнозирования и контроля работоспособности; повышение удельного веса унифицированных элементов и блоков; обеспечение доступности к элементам для контроля и замены; оптимизацию количества контрольных точек и другие работы.

В процессе проектирования приходится учитывать, что требования к показателям качества в ряде случаев оказываются противоречивыми как между собой, так и между одноименными показателями на различных этапах жизненного цикла изделий ТКС. Так, например, технико-экономические показатели, и в частности показатели надежности и экономические показатели качества, на этапе производства и при эксплуатации одних и тех же изделий ТКС являются противоречивыми. Стоимость, затрачен-

ная на производство изделия, возрастает с увеличением требований по надежности, а стоимость эксплуатации при возрастании показателей надежности, как правило, снижается, так как более надежные изделия требуют меньших эксплуатационных затрат. В таких случаях на этапе проектирования задача состоит в определении такого значения показателя надежности  $\Pi_n$  (например, вероятности безотказной работы  $P$ ), при котором экономический показатель  $\Pi_{\Sigma}$  достигает минимальной величины.

При ее решении следует исходить из суммарного значения экономического показателя  $\Pi_{\Sigma}$ , связанного с производством  $\Pi_n$  и эксплуатацией  $\Pi_{\text{экс}}$  (рис. 5.2):  $\Pi_{\Sigma} = \Pi_n + \Pi_{\text{экс}}$ . Получаемый путем суммирования экономический показатель имеет минимум, которому соответствует оптимальное значение показателя надежности.

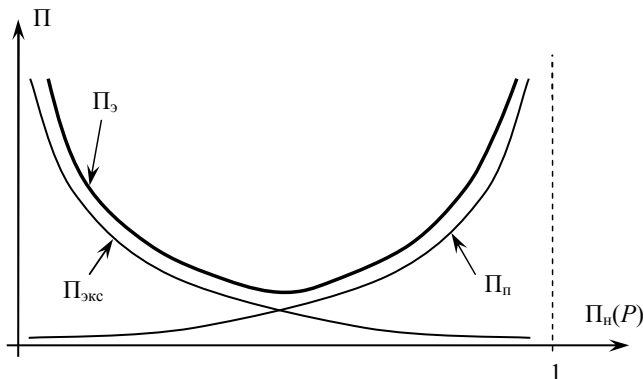


Рис. 5.2. Определение оптимального значения показателя качества на стадии проектирования

На стадии изготовления задача управления качеством изделия сводится к обеспечению уровня качества, установленного при проектировании и отраженного в НТД. Успешная реализация этой задачи определяется рядом факторов: качеством применяемых технологических процессов, технической оснащённостью производства, качеством поставляемых материалов

и комплектующих изделий, уровнем организации и культурой производства, обеспеченностью кадрами и их квалификацией, качеством контроля изделий и др.

Объектом управления в системе управления качеством являются условия и факторы процессов производства и испытаний изделий, а средствами управления или управляющими воздействиями — весь арсенал административных, технических и экономических рычагов, применяемых на всех уровнях управления.

Вопросу управления качеством изделий ТКС в процессе их производства посвящены работы ряда отечественных ученых и специалистов [11; 12]. Более подробно остановимся на анализе стадии эксплуатации изделий ТКС.

На стадии эксплуатации управление качеством изделий обычно отождествляется с управлением их техническим состоянием.

Под техническим состоянием (ТС) изделия понимается совокупность подверженных изменению в процессе эксплуатации свойств изделия, характеризующихся в определенные моменты времени признаками, установленными в технической документации на это изделие.

Как следует из определения, по своей сущности понятие «техническое состояние изделия» тесно связано с понятием «качество изделия», раскрывает его сущность и конкретизирует применительно к условиям эксплуатации. Поэтому в последующем изложении будем использовать термин «техническое состояние изделия» или «состояние изделия».

Принято выделять две пары взаимно противоположных состояний: исправное — неисправное, работоспособное — неработоспособное и предельное состояние.

Исправное — это состояние изделия ТКС, при котором оно должно соответствовать всем требованиям НТД и (или) конструкторской документации. Если хотя бы одно из требований НТД не выполняется, то изделие ТКС переводится в неисправное состояние.

Работоспособное — это состояние изделия, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, должны соответствовать требованиям НТД. Изделие ТКС оказывается неработоспособным, если хотя бы один из его параметров по результатам контроля не соответствует нормам.

Предельным называется состояние, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. Предельное состояние устанавливается обычно по критериям физического и (или) морального износа изделий, определяющим необходимость проведения средних и капитальных ремонтов или списания.

Исходя из рассмотрения сущности состояний изделий ТКС, следует, что задача управления техническим состоянием может рассматриваться как задача обеспечения максимального времени пребывания изделия в работоспособном (исправном) состоянии и в обеспечении максимального времени до его перехода в предельное состояние.

Система управления техническим состоянием изделий ТКС имеет признаки, присущие любой системе управления. Наиболее существенным является наличие организационной основы структуры управления, стратегии управления, полноты процесса управления и системотехнического подхода к построению структуры управления. Указанные признаки имеют много общего с аналогичными признаками системы управления на стадии производства, вместе с тем, имеются и существенные особенности.

Организационной основой управления техническим состоянием изделий ТКС являются техническое обслуживание и ремонт, объединенные общей организационной системой технического обслуживания и ремонта (СТОР) (рис. 5.3).

В системе эксплуатации устройств ТКС выделяются три функционально самостоятельные подсистемы: использования

устройств ТКС по назначению; технической эксплуатации; организации обеспечения использования РЭИ по назначению и обеспечения технической эксплуатации. Из всех мероприятий технической эксплуатации техническое обслуживание и ремонт оказывают наибольшее влияние на качество функционирования устройств ТКС. Они являются наиболее оперативными элементами управления качеством изделий ТКС.

Под техническим обслуживанием (ТО) понимается комплекс операций по поддержанию устройств ТКС в работоспособном или исправном состоянии, а под ремонтом — комплекс работ по восстановлению исправности или работоспособности.

Таким образом, СТОР как организационная основа управления техническим состоянием представляет собой совокупность объектов ТО, обслуживающего их персонала и органов управления и обеспечения процесса эксплуатации, которые взаимодействуют между собой с целью поддержания устройств ТКС в работоспособном или исправном состоянии.

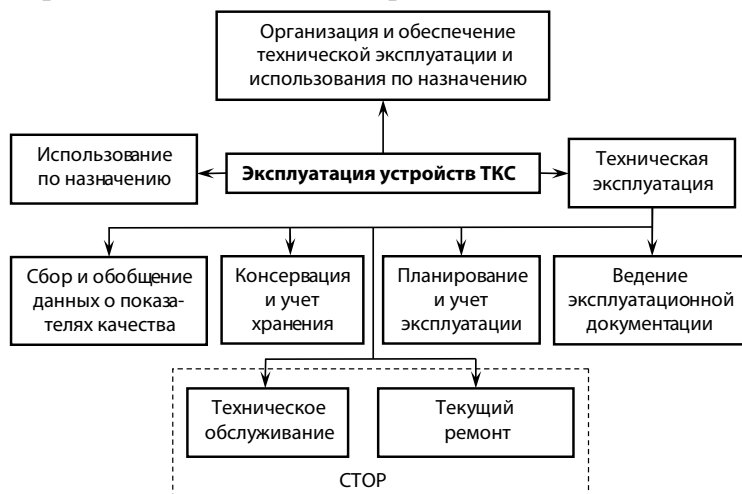


Рис. 5.3. Содержание эксплуатации устройств ТКС

Стратегия управления ТС устройств ТКС является основополагающим понятием, под которым обычно понимается совокупность правил управления.

Различают жесткие и гибкие стратегии управления ТС устройств ТКС (рис. 5.4). Жесткие стратегии управления предполагают фиксированный объем работ ( $V$ ) и периодичность управляющего воздействия ( $T$ ). При использовании гибких стратегий могут изменяться как сроки реализации управляющих воздействий, так и объем выполняемых работ.

Стратегию управления в общем случае можно рассматривать как стохастический управляемый процесс с дискретным временем  $G = \{U, \Phi, T\}$ . Этот процесс определяется тремя составляющими:  $U = (U_1, U_2 \dots U_n)$  — пространство управлений, реализуемых в моменты времени  $t_n$ ;  $\Phi = (\phi_1, \phi_2 \dots \phi_n)$  — последовательность правил, определяющих процесс управления;  $T = (t_1, t_2 \dots t_n)$  — временная последовательность управляющих воздействий.

Системотехнический подход при управлении техническим состоянием, как и при управлении качеством на этапе производства, предполагает наличие управляющей и управляемой систем, взаимодействующих между собой.

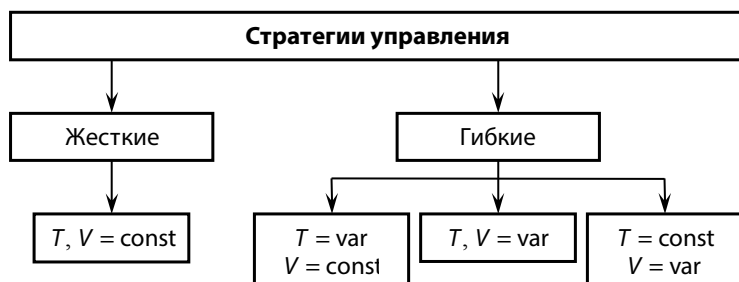


Рис. 5.4. Стратегии управления

На верхнем уровне, как правило, находится подсистема организационного управления (СОУ). Она обеспечивает сбор и обработку информации, необходимой для управления параметрами СТОР с целью наиболее эффективного ее использования.

Нижний уровень представляет подсистема управления технологическим процессом технического обслуживания и текущего ремонта (СУТП). Ее целевое назначение — сбор и обработка информации, необходимой непосредственно для управления техническим состоянием устройств ТКС. Алгоритм функционирования системы управления техническим состоянием устройств ТКС последовательно решает три основные задачи: сбор информации; целенаправленную переработку этой информации; выдачу управляющих воздействий на объект управления (рис. 5.5).

В соответствии с целями технического обслуживания и принятой стратегией в СОУ формируется алгоритм управления и определяются оптимальные параметры СТОР (объем, периодичность). В СУТП определяется вид управляющего воздействия, реализуемый, как правило, человеком.

Полнота процесса управления предполагает контроль управления факторами, влияющими на техническое состояние устройств ТКС.

В рамках СТОР полноту процесса управления можно охарактеризовать деревом функций, состоящим из целевой функции и функций двух основных уровней (рис. 5.6).

Функции  $F$ , показанные на рис. 5.6, имеют следующие значения:

$F_0$  — целевая функция;

$F_1$  — планирование;

$F_2$  — контроль;

$F_3$  — восстановление технического состояния;

$F_{1.1}$  — планирование видов и объемов работ на ТО и ремонт;

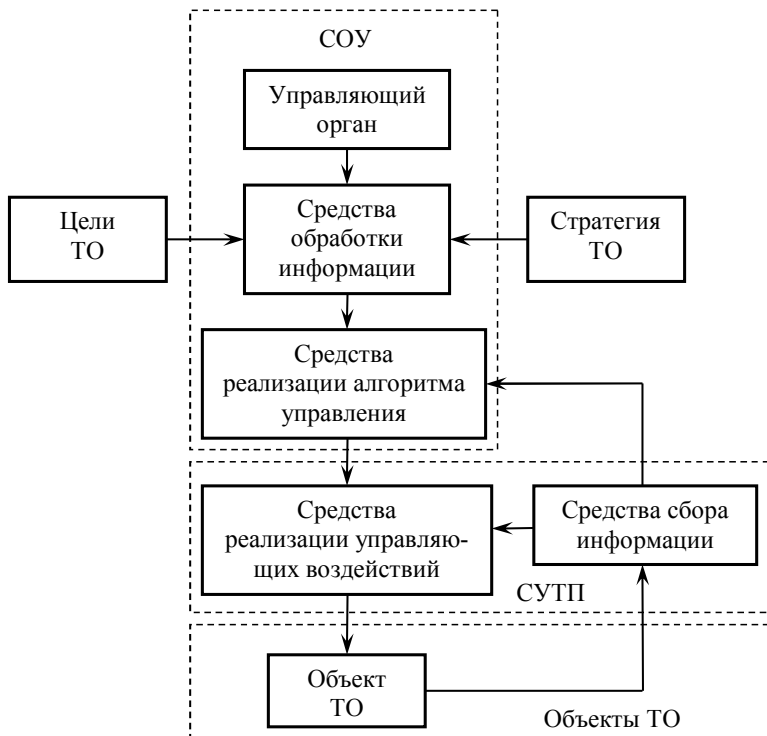


Рис. 5.5. Алгоритм функционирования системы технического обслуживания

$F_{1.2}$  — планирование трудозатрат на ТО и ремонт;

$F_{1.3}$  — планирование запасов;

$F_{1.4}$  — планирование необходимого оборудования для ТО и ремонта;

$F_{2.1}$  — съем информации о состоянии устройств ТКС;

$F_{2.2}$  — накопление и обработка информации о состоянии устройств ТКС;

$F_{3.1}$  — диагностика;

$F_{3.2}$  — устранение отказов;

$F_{3.3}$  — доведение параметров и характеристик до нормы.



Эффективность реализации целевой функции определяется качеством реализации всех составляющих, т. е.

$$F_0 = f(F_1, F_2, F_3).$$

Цель системы управления — обеспечение требуемой готовности устройств ТКС за счет сокращения длительности простоев на ТО и ремонт при минимизации расхода ресурса.

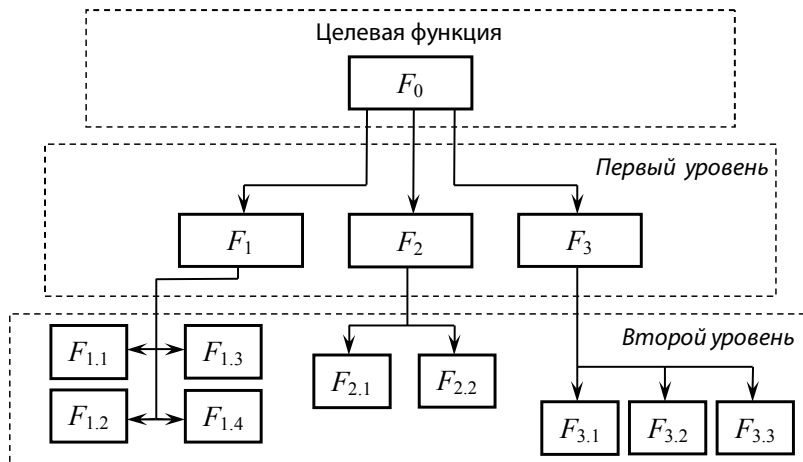


Рис. 5.6. Дерево функции процесса управления

В соответствии с указанной целью в качестве критерия, определяющего полноту процесса управления, может быть использован комплексный критерий типа «стоимость—готовность»:

$$K(t) = \{C(t), K_{\text{ог}}(t)\},$$

где  $C(t)$  — суммарные затраты на контроль, ТО и ремонт;

$K_{\text{ог}}(t)$  — нестационарный коэффициент оперативной готовности.

При исследовании системы управления ТС устройств ТКС, как и при любом исследовании, возникает задача построения модели исследуемого явления.

В качестве примера рассмотрим вероятностную модель управления состоянием устройств ТКС, полагая при этом, что в частном случае объектом управления может быть средство измерений.

При рассмотрении вопроса будем учитывать следующие ограничения:

- техническое состояние устройства ТКС полностью характеризуется одним параметром (для средства измерений это может быть одна из метрологических характеристик, например погрешность);

- параметр подвержен случайному изменению (дрейфу) во времени, характер этого изменения монотонный и в общем случае может быть как односторонним, так и двусторонним.

Конечной задачей будем считать определение закона распределения времени до выхода параметра за границы рабочей области при линейной модели дрейфа параметра.

С учетом ограничений событие, заключающееся в достижении некоторым параметром своего граничного значения, будем считать случайным, а значение параметра  $\Pi(t)$  при его возможном двухстороннем дрейфе будем считать нормальным, если в течение заданного времени  $T_3$  оно находится в допустимых пределах  $\Pi_a - \Pi_b$ , т. е.

$$\Pi_a \leq \Pi(t) \leq \Pi_b, 0 \leq t \leq T_3. \quad (5.9)$$

О вероятности выполнения условия (5.9) следует говорить как о вероятности, зависящей как от времени, так и от предельных допустимых значений параметра:

$$P(\Pi_a, \Pi_b, t) = P\{\Pi_a \leq \Pi(t) \leq \Pi_b; 0, \dots, T_3\}.$$

При одностороннем предельном допуске на дрейф параметра вероятность нахождения параметра в заданных пределах будет определяться следующими равенствами:

- для одностороннего нижнего допуска

$$P(\Pi_a, t) = P\{\Pi_a \leq \Pi(t); 0, \dots, T_3\}; \quad (5.10)$$

для одностороннего верхнего допуска

$$P(\Pi_b, t) = P\{\Pi_b \leq \Pi(t); 0, \dots, T_3\}. \quad (5.11)$$

Известно, что монотонные медленные изменения параметров  $\Pi(t)$  различных явлений и процессов, в том числе и параметров устройств ТКС, могут быть описаны уравнением следующего вида:

$$\frac{d\Pi(t)}{dt} = -kF(\Pi), \quad (5.12)$$

где  $\Pi(t)$  — определяющий параметр;

$k$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от интенсивности изменения параметра;

$F(\Pi)$  — функция, характеризующая процесс изменения определяющего параметра.

Используя (5.12), найдем  $F(\Pi)$ . При этом рассмотрим наиболее типичный случай, когда  $\Pi(t)$  описывается линейной функцией.

Для линейной модели дрейфа:

$$\frac{d(\Pi_0 - \alpha t)}{dt} = -kF(\Pi), \quad F(\Pi) = \frac{\alpha}{k} = \text{const}. \quad (5.13)$$

От уравнения (5.13) перейдем к уравнению, связывающему значение параметра в текущий момент времени с предельным значением параметра  $\Pi_{\text{пр}}$  и временем  $T_{\text{пр}}$  достижения параметром предельного значения. При этом будем иметь в виду, что каждому предельному значению параметра  $\Pi_{\text{пр}}$  соответствует момент достижения параметром  $\Pi(t)$  этого предельного значения  $T_{\text{пр}}$ :

$$\Pi(T_{\text{пр}}) = \Pi_{\text{пр}}. \quad (5.14)$$

Для этого решим уравнение (5.13) относительно  $\Pi(t)$  с учетом (5.14).

Для линейной модели дрейфа получим:

$$\frac{d\Pi(t)}{dt} = -k \frac{\alpha}{k} = -\alpha. \quad (5.15)$$

Уравнение (5.15) — это линейное однородное дифференциальное уравнение. Его решением относительно  $\Pi(t)$  является

$$\Pi(t) = c_1 - \alpha t, \quad (5.16)$$

где  $c_1$  — постоянная величина, имеющая размерность  $\Pi(t)$ .

Значение постоянной  $c_1$  найдем с учетом условия (5.14). Для этого, подставив в (5.16) вместо  $\Pi(t)$  и  $t$   $\Pi(T_{\text{пр}})$  и  $T_{\text{пр}}$  соответственно, получим

$$c_1 = \Pi_{\text{пр}} - \alpha_1 T_{\text{пр}}.$$

В результате выражение для уравнения отказа

$$\Pi(t) = \Pi_{\text{пр}} + \alpha_1 T_{\text{пр}} - \alpha_1 t = \Pi_{\text{пр}} + \alpha_1 (T_{\text{пр}} - t). \quad (5.17)$$

Полученное уравнение, характеризующие достижение параметром предельного состояния, можно рассматривать в качестве базового для решения задачи по определению вероятностных характеристик распределения времени до выхода исследуемого параметра за заданные предельные значения.

В зависимости от характера значений, которые принимают параметры уравнения (5.17) (детерминированные или случайные), выделим и рассмотрим три частных случая модели.

### 5.3.1. ЛИНЕЙНО-ВЕРНАЯ МОДЕЛЬ

В этой модели предполагается, что скорость изменения исследуемого параметра  $\alpha$  является случайной величиной с известной плотностью распределения  $w(\alpha)$ . Моменту достижения параметром предельного значения  $T_{\text{пр}}$  соответствует значение  $\Pi_{\text{пр}}$ . Задача состоит в определении закона распределения времени достижения параметром предельного значения.

Исходя из условия задачи, уравнение (5.17) запишем в следующем виде:

$$\Pi(t) - \Pi_{\text{пр}} = -\alpha(t - T_{\text{пр}}), \quad (5.18)$$

или

$$\Pi(t) - \Pi_{\text{пр}} = -\alpha\tau, \quad (5.19)$$

где  $\tau = t - T_{\text{пр}}$  — время до достижения параметром предельного значения.

Из (5.19) следует, что  $\tau$  пропорционально разности между текущим значением параметра и его предельным значением и обратно пропорционально скорости дрейфа параметра:

$$\tau = \frac{\Pi(t) - \Pi_{\text{пр}}}{\alpha} = \frac{\Delta\Pi}{\alpha}, \quad (5.20)$$

где  $\alpha$  — случайная величина.

Таким образом, случайные величины  $\tau$  и  $\alpha$  имеют однозначную зависимость  $\tau = \varphi(\alpha)$ .

Поскольку распределение  $w(\alpha)$  известно, решение задачи сводится к определению закона распределения функции случайного аргумента. При условии, что  $w(\alpha)$  дифференцируема, имеем

$$w(\tau) = w(\alpha) \left| d\alpha / d\tau \right|, \quad (5.21)$$

т. е. искомое распределение случайной величины  $\tau$  выражается через распределения случайной величины  $\alpha$  и производную от обратной функции.

Используя (5.20), получаем

$$d\alpha / d\tau = -\Delta\Pi / \tau^2. \quad (5.22)$$

Подставив (5.22) в (5.21), имеем

$$w(\tau) = w(\alpha) \Delta\Pi / \tau^2. \quad (5.23)$$

Равенство (5.23) позволяет определить плотность распределения времени до достижения параметром предельного значения при произвольном распределении его скорости дрейфа. Вероятность невыхода параметра за пределы рабочей области за заданное время  $T_{\text{пр}}$ :

$$P(T_{\text{пр}}) = P(\tau - T_{\text{пр}}) = \int_{T_{\text{пр}}}^{\infty} w(\tau) d\tau. \quad (5.24)$$

Для частного случая, когда параметр  $\alpha$  изменяется по нормальному закону, имеем

$$\begin{aligned} w(\tau) &= \frac{\Delta\P}{\tau^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\alpha}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_{\alpha}^2}\left(\frac{\Delta\P}{\tau} - m_{\alpha}\right)^2\right] = \\ &= \frac{\Delta\P}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\alpha}\tau^2} \exp\left[-\frac{(\Delta\P - m_{\alpha}\tau)^2}{2\sigma_{\alpha}^2\tau^2}\right]. \end{aligned} \quad (5.25)$$

### 5.3.2. ЛИНЕЙНО-РАВНОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ

В этой модели скорость изменения параметра  $\alpha$  является величиной постоянной, а значение параметра  $\Pi$  является случайной величиной, распределенной по произвольному закону. Предельно допустимое значение параметра  $\Pi_{\text{пр}}$  задано. Проводя рассуждения, аналогичные приведенным при анализе линейно-верной модели, получаем равенство, аналогичное (5.20):

$$\tau = \frac{\Delta\P}{\alpha}, \quad (5.26)$$

где  $\Delta\P$  — случайная величина.

В рассматриваемом случае взаимно-однозначной зависимостью связаны случайные величины  $\tau$  и  $\Delta\P$ :  $\tau = \varphi(\Delta\P)$ .

Так как плотность распределения  $\Delta\Pi$  известна, тогда

$$w(\tau) = w(\Delta\Pi) \left| d(\Delta\Pi) / d\tau \right|. \quad (5.27)$$

Из равенства (5.26) следует, что

$$d(\Delta\Pi) / d\tau = \alpha,$$

тогда

$$w(\tau) = w(\Delta\Pi)\alpha.$$

Для случая, когда случайная величина  $\Delta\Pi$  распределена по нормальному закону, имеем

$$w(\tau) = \frac{\alpha}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta\Pi}} \exp\left[-\frac{(\Delta\Pi - m_{\Delta\Pi})^2}{2\sigma_{\Delta\Pi}^2}\right]. \quad (5.28)$$

### 5.3.3. ЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ С ДВУМЯ СЛУЧАЙНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

В этой модели рассматривается случай, когда оба коэффициента  $\Pi$  и  $\alpha$  модели дрейфа параметра являются случайными величинами с произвольными законами распределения. Из условия задачи следует, что  $\tau = \varphi(\Delta\Pi, \alpha)$ .

Определим обратную функцию:

$$\Delta\Pi = \psi_{\Delta\Pi}(\tau, \alpha) = \tau\alpha. \quad (5.29)$$

В соответствии с правилами нахождения функции от нескольких случайных величин,

$$w(\tau) = \int_0^\infty w_{\Delta\Pi}[\psi_{\Delta\Pi}(\tau, \alpha)] w(\alpha) |J| d\alpha. \quad (5.30)$$

В (5.30)  $J$  — якобиан обратного преобразования, определяемый выражением

$$J = \frac{d[\psi_{\Delta\Pi}(\tau, \alpha)]}{d\tau}.$$

Используя (5.29), выражение (5.30) можно записать в виде

$$w(\tau) = \int_0^{\infty} w(\alpha\tau) w(\alpha) J d\alpha. \quad (5.31)$$

Если в качестве обратной величины взять  $\alpha$ , то

$$w(\tau) = \int_0^{\infty} w(\Delta\Pi) w(\Delta\Pi/\tau) J d\alpha.$$

Для частного случая, когда  $\Delta\Pi$  и  $\alpha$  распределены по нормальному закону с параметрами  $m_{\Delta\Pi}$ ,  $m_{\alpha}$ ,  $\sigma_{\Delta\Pi}$ ,  $\sigma_{\alpha}$ , можно записать

$$w(\tau) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta\Pi}\sigma_{\alpha}} \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{(\Delta\Pi - m_{\Delta\Pi})^2}{2\sigma_{\Delta\Pi}^2}\right] \exp\left[-\frac{(\alpha - m_{\alpha})^2}{2\sigma_{\alpha}^2}\right] \alpha d\alpha.$$

Таким образом, полученные аналитические выражения позволяют определить распределение времени до достижения параметром устройства ТКС предельного значения при линейном дрейфе определяющего параметра и произвольном распределении параметров линейной модели. Вероятность достижения параметром предельного значения определяется в этом случае формулой (5.24).

Применительно к СИ полученные аналитические зависимости позволяют определить плотность распределения времени наступления метрологического отказа, т. е. отказа, вызванного выходом метрологической характеристики за установленные допуски. Если в качестве метрологической характеристики взять погрешность СИ, то дрейф необходимо рассматривать относительно верхнего допуска и в правой части формулы (5.16) знак изменить на противоположный.

Таким образом, рассмотренный вероятностный подход можно использовать в качестве одного из возможных методов определения продолжительности межповерочного интервала СИ.



В качестве второго примера рассмотрим аналитическую модель управления техническим состоянием устройств ТКС в процессе эксплуатации.

Техническое состояние (качество) устройства ТКС, находящегося в режиме непрерывной эксплуатации, будем оценивать комплексным показателем надежности изделия — коэффициентом технического использования

$$K_{\text{ти}} = \frac{T_{\text{бр}}}{T_{\text{то}} + T_{\text{в}} + \tau_y}, \quad (5.32)$$

где  $T_{\text{бр}}$  — среднее время безотказной работы изделия;

$T_{\text{то}}, T_{\text{в}}$  — среднее время, затрачиваемое на техническое обслуживание и восстановление изделия соответственно;

$\tau_y$  — интервал времени между двумя последовательными управляющими воздействиями.

Задача управления заключается в выборе периодичности управляющего воздействия  $\tau_y$  в виде операции технического обслуживания и ремонта устройства ТКС, обеспечивающего максимальное пребывание устройства в исправном (работоспособном) состоянии, т. е. максимальное значение  $K_{\text{ти}}$ .

Будем считать, что контроль технического состояния устройства ТКС проводится только в процессе его технического обслуживания и ремонта и интенсивность отказов во время эксплуатации не меняется ( $\lambda = \text{const}$ ).

Для данного случая

$$T_{\text{бр}} = \int_0^{\tau_y} P(t) dt = \int_0^{\tau_y} e^{-\lambda t} dt, \quad (5.33)$$

где  $P(t)$  — вероятность безотказной работы изделия.

Интегрируя (5.33) и подставляя в (5.32), получаем

$$K_{\text{ти}} = \frac{1}{T_{\text{то}} + T_{\text{в}} + \tau_y} \frac{1 - e^{-\lambda \tau_y}}{\lambda}. \quad (5.34)$$

Графическая зависимость коэффициента технического использования  $K_{\text{ти}} = \varphi(\tau_y)$  приведена на рис. 5.7 при  $\lambda = 1 \cdot 10^{-2}$  ч,  $T_{\text{то}} = 24$  ч,  $T_{\text{в}} = 1$  ч.

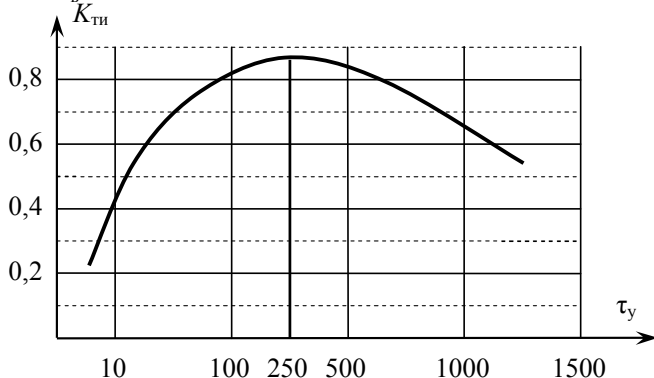


Рис. 5.7. Графическое решение зависимости (5.34)

Из графика видно, что при заданных условиях оптимальная периодичность управляющего воздействия, обеспечивающая максимальное значение качества устройства ТКС по комплексному показателю надежности, равна  $\tau_y = 250$  ч.

## ГЛАВА 6. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

---

Вступивший в силу 1 июля 2003 г. Федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании» определил новую систему установления и применения требований к продукции, процессам производства, работам и услугам. Закон направлен на создание основ единой политики в областях технического регулирования, стандартизации и сертификации, отвечающей современным международным требованиям. В результате принятия закона появились новые правовые акты, прежде всего технические регламенты.

Появление этого закона в определенной мере связано с интеграцией России в мировое экономическое сообщество и возникающими при этом некоторыми техническими и экономическими барьерами.

Основная цель закона — создание двухуровневой системы нормативных документов, включающей в себя технические регламенты, содержащие обязательные требования и добровольные стандарты.

### 6.1. ПРИНЦИПЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В Федеральном законе «О техническом регулировании» дается следующее определение понятию «техническое регулирование».

Техническое регулирование — правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к связанным с ними процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия.

Согласно этому определению, техническое регулирование — это правовое регулирование отношений в трех областях:

- в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации;
- в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг;
- в области оценивания соответствия.

Понятие «техническое регулирование» определяет принципиально новый подход ко всему процессу регулирования отношений при установлении, применении и исполнении обязательных и добровольных требований к объектам регулирования.

Объектами регулирования являются: продукция; процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации; работы; услуги. При этом следует подчеркнуть, что на продукцию и связанные с ней процессы разрабатываются и применяются как обязательные, так и добровольно исполняемые требования, а на выполнение работ и оказание услуг — только добровольные требования.

Техническое регулирование осуществляется в соответствии с основными принципами, приведенными ниже.

1. Единства правил установления требований к объектам технического регулирования. Данный принцип позволяет исключить ситуацию, когда требования к продукции разрабатываются в различных ведомствах и при этом оказываются дублирующими или взаимоисключающими.

2. Соответствия технического регулирования уровню развития национальной экономики, развитию материально-технической базы, а также уровню научно-технического развития.

3. Независимости органов по аккредитации, органов по сертификации от изготовителей, продавцов, исполнителей и приобретателей.

4. Единой системы и правил аккредитации.

5. Единства правил и методов исследований (испытаний) и измерений при проведении процедур обязательной оценки соответствия.

6. Единства применения требований технических регламентов независимо от видов или особенностей сделок.

7. Недопустимости ограничения конкуренции при осуществлении аккредитации и сертификации.

8. Недопустимости совмещения полномочий органа государственного контроля (надзора) и органа по сертификации.

9. Недопустимости совмещения одним органом полномочий на аккредитацию и сертификацию.

10. Недопустимости внебюджетного финансирования государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов.

Преследуя цель сближения национальной системы технического регулирования с системами технического регулирования стран общего рынка и ВТО, закон «О техническом регулировании» вводит принципиально новое понятие — «технический регламент», определяя его как документ, который устанавли-

вают обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Технические регламенты как инструменты технического регулирования принимаются для достижения следующих трех целей:

- защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей.

Технические регламенты устанавливают минимально необходимые требования, которые обеспечивают: безопасность излучений, биологическую безопасность, взрывобезопасность, механическую безопасность, пожарную безопасность, промышленную безопасность, термическую безопасность, химическую безопасность, электрическую безопасность, ядерную и радиационную безопасность, электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работ приборов и оборудования, единство измерений.

В РФ применяют общие технические регламенты и специальные технические регламенты.

Общие технические регламенты применимы для любых видов продукции и процессов. Вместе с тем, они должны обязательно приниматься по следующим вопросам: безопасной эксплуатации и утилизации машин и оборудования; безопасной эксплуатации зданий, строений, сооружений и безопасного использования прилегающих к ним территорий; пожарной безопасности; биологической безопасности; электромагнит-

ной совместимости; экологической безопасности; ядерной и радиационной безопасности.

Специальные технические регламенты устанавливают требования только к тем отдельным видам продукции и процессам, в отношении которых общие технические регламенты не обеспечивают достижения трех указанных выше целей.

Технические регламенты могут быть приняты следующими правовыми актами: международным договором РФ; Федеральным законом; указом Президента РФ; постановлением Правительства РФ.

Порядок разработки и принятия технического регламента определен законом «О техническом регулировании», где выделены следующие основные положения:

- разработчиком проекта технического регламента может быть любое лицо, то есть разработка требований не является монополией государства;
- о разработке проекта технического регламента должно быть опубликовано уведомление;
- после опубликования уведомления проект технического регламента должен быть доступен заинтересованным лицам для ознакомления;
- проект технического регламента дорабатывается с учетом полученных в письменной форме замечаний и публично обсуждается;
- о завершении публичного обсуждения проекта технического регламента должно быть опубликовано уведомление;
- проект Федерального закона о техническом регламенте, внесенный в Государственную Думу, направляется в Правительство РФ, где готовится отзыв с учетом заключения экспертной комиссии по техническому регулированию;
- дальнейшая процедура принятия Федерального закона, содержащего технический регламент, проходит в соответствии с установленной процедурой принятия законов Государственной Думой.

Издание технического регламента указом Президента РФ или постановлением Правительства РФ допускается в исключительных случаях, при возникновении обстоятельств, приводящих к непосредственной угрозе жизни или здоровью граждан или в других неотлагательных случаях, оговоренных в законе «О техническом регулировании».

## 6.2. ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

В РФ, как и в других развитых странах мира, стандартизация охватывает различные сферы человеческой деятельности. Она основывается на достижениях науки, техники, передового опыта и неразрывно связана с техническим прогрессом.

С целью установления единых организационных, методических и практических подходов к проведению работ по стандартизации, в РФ была разработана и в 1970-х гг. внедрена Государственная система стандартизации (ГСС). Она представляет собой комплекс правил и положений, которые определяют: основные понятия, цели и задачи стандартизации; структуру органов и служб стандартизации; правила и методику проведения работ по стандартизации; порядок разработки, оформления, издания и внедрения нормативных документов по стандартизации; порядок внесения изменений в нормативные документы; контроль за внедрением и соблюдением стандартов и других нормативных документов и пр.

ГСС непрерывно совершенствовалась и дополнялась. В 1993 г. она претерпела определенные преобразования в связи с принятием Закона РФ «О стандартизации». Закон определил общие требования к содержанию стандартов. Была принята новая редакция основных стандартов, объединяющих и упорядочивающих действия по стандартизации. В этом законе была сделана первая попытка разделить требования стандартов на обязательные и добровольные.



Принципиально новые положения в систему стандартизации внес закон «О техническом регулировании».

В Федеральном законе «О техническом регулировании» используются следующие основные понятия в области стандартизации.

Стандартизация — деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг.

Международный стандарт — стандарт, принятый международной организацией.

Национальный стандарт — стандарт, утвержденный национальным органом РФ по стандартизации.

Продукция — результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях.

Риск — вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

Стандарт — документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт также может содержать правила и методы исследований (испытаний) и измерений, правила отбора образцов, требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

Свод правил — документ в области стандартизации, в котором содержатся технические правила и (или) описание процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции и который применяется на добровольной основе.

### 6.2.1. Цели, принципы и методы стандартизации

Основные цели стандартизации в настоящее время следующие:

- повышение уровня безопасности жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, экологической безопасности, безопасности жизни или здоровья животных и растений;
- содействие соблюдению требований технических регламентов;
- повышение уровня безопасности объекта с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и технического характера;
- обеспечение научно-технического прогресса;
- повышение конкурентоспособности продукции, работ, услуг;
- рациональное использование ресурсов;
- техническая и информационная совместимость;
- сопоставимость результатов исследований (испытаний) и измерений, технических и экономико-статистических данных;
- взаимозаменяемость продукции.

Под безопасностью при формулировании целей понимается состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан,

имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений.

Следует отметить, что если по Закону РФ «О стандартизации» обеспечение единства измерений являлось целью стандартизации, то в соответствии с законом «О техническом регулировании» единство измерений стало сферой технического регулирования. Целями стандартизации стало повышение уровня безопасности продукции, работ и услуг, а не обеспечение безопасности, как это было ранее.

Современная стандартизация осуществляется в соответствии со следующими принципами, определенными в законе «О техническом регулировании»:

- добровольного применения стандартов;
- максимального учета при разработке стандартов законных интересов заинтересованных лиц;
- применения международного стандарта как основы разработки национального стандарта;
- недопустимости создания препятствий производству и обращению продукции, выполнению работ и оказанию услуг в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей стандартизации;
- недопустимости установления таких стандартов, которые противоречат техническим регламентам;
- обеспечения условий для единообразного применения стандартов.

Метод стандартизации — это прием или совокупность приемов, с помощью которых достигаются цели стандартизации.

В настоящее время находят применение различные методы стандартизации. Наиболее широко используемыми методами стандартизации являются унификация, агрегатирование, ограничение (симплификация), типизация.

Метод унификации состоит в рациональном сокращении видов, типов и размеров объектов одинакового функционального назначения. Объектами унификации наиболее часто являются отдельные изделия, их составные части, детали, марки материалов и т. п. Цель унификации — установление минимально необходимого для практики числа типов, видов и типоразмеров изделий, обладающих высокими показателями качества и полной взаимозаменяемостью.

Метод агрегатирования заключается в создании новых объектов из ограниченного набора отдельных стандартных, унифицированных узлов, обладающих геометрической и функциональной взаимозаменяемостью и многократно используемых при создании различных изделий. Метод агрегатирования обеспечивает конструктивную преемственность при модернизации и создании новых изделий, а также позволяет сократить трудоемкость при их проектировании, изготовлении и ремонте. Агрегатирование широко распространено в радиоэлектронике и приборостроении при проектировании радиоэлектронной аппаратуры и измерительных приборов на основе прогрессивного функционально-узлового метода.

Метод ограничения (симплификации) состоит в отборе из существующей совокупности объектов целесообразного их минимума. Он позволяет упростить производство, снабжение, складирование. Симплификацию рассматривают в ряде случаев как простейшую форму унификации.

Метод типизации заключается в установлении типовых (образцовых) объектов для данной совокупности, принимаемых за основу (образец) при создании других объектов, близких по функциональному назначению, например типовые корпуса для различных средств измерений.

### 6.2.2. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ

Непосредственным результатом стандартизации является нормативный документ (НД). Он устанавливает правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или результатов. Основным нормативным документом является стандарт. Напомним, что стандарт — это документ, в котором, в целях добровольного многократного использования, устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг.

Кроме того, стандарт может содержать требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

Стандарты, как следует из приведенного выше определения, перестали быть обязательными, они отнесены к разряду документов, принимаемых добровольно. Вместе с тем национальные стандарты и общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации представляют собой основу современной национальной системы стандартизации.

Создание системы нормативных документов является одной из основных задач стандартизации. Принято различать международные стандарты, региональные стандарты, межгосударственные стандарты (ГОСТ). Международные стандарты используются в странах, входящих в Международную организацию по стандартизации (ИСО). Примером региональных стандартов могут быть европейские стандарты. В странах, заключивших между собой соответствующее соглашение, могут использоваться межгосударственные стандарты, например стандарты стран СНГ.

На территории РФ применяют следующие основные доку-

менты по стандартизации: национальные стандарты (ГОСТ Р); правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации; общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации; стандарты организаций.

Порядок разработки национальных стандартов определяет закон РФ «О техническом регулировании», а утверждает стандарты национальный орган по стандартизации. Национальный орган по стандартизации разрабатывает и утверждает программу разработки национальных стандартов и обеспечивает доступность программы разработки заинтересованным лицам для ознакомления.

Основными объектами национальных стандартов могут быть различные виды продукции, услуг и процессов. Национальными стандартами может устанавливаться терминология в различных областях деятельности, в том числе в таких, которые имеют межотраслевое значение, например терминология в области качества продукции, надежности, безопасности, экологии.

Совокупности национальных стандартов межотраслевого значения представлены в табл. 6.1.

Все национальные стандарты РФ имеют единую структуру, которая включает следующие аспекты:

- область распространения;
- содержательную (основную) часть стандарта;
- информационные данные.

Область распространения стандарта — объекты стандартизации, объединенные единством требований данного стандарта. Для правильного применения стандарта важны четкость изложения и однозначность понимания области его распространения. Область распространения (применения) присутствует во всех нормативных документах.

Таблица 6.1

**Совокупности национальных стандартов  
межотраслевого значения**

Наименование системы	Аббревиатура в обозначении стандарта	Шифр в обозначении
Национальная система стандартизации РФ	ГСС	1
Единая система конструктор- ской документации	ЕСКД	2
Единая система технологиче- ской документации	ЕСТП	3
Система показателей качества продукции	СПКП	4
Унифицированная система документации	УСД	6
Система информационно- библиографической докумен- тации	СИБИД	7
Государственная система обеспечения единства измерений	ГСИ	8
Система стандартов безопасности труда	ССБТ	12
Единая система технологиче- ской подготовки производства	ЕСТПП	14
Единая система программных документов	ЕСПД	19

Содержательная (основная) часть стандарта содержит тре-  
бования к объекту стандартизации и зависит от его назначе-

ния и вида. Содержательная часть национальных стандартов в основном включает в себя классификацию изделий и определения. Стандарты, как правило, содержат технические требования к изделию, правила его приемки и методы испытаний. Национальный стандарт может содержать такие разделы, как требования к конструкции, маркировке, требования к хранению и т. п. Часто в стандартах имеются приложения.

Информационные данные — информация о разработчике и используемой литературе. Информационные данные располагаются в конце описания стандартов.

Структура стандартов может отличаться лишь некоторыми показателями, основная же часть остается неизменной.

Указанные стандарты призваны устанавливать наиболее эффективную последовательность организационных или технологических процедур в целях обеспечения поставленных целей.

Для достижения упорядоченности в сфере обращения продукции могут разрабатываться национальные стандарты по требованиям к маркировке продукции и тары, применяемым символам, способам упаковки.

ГОСТ Р 1.5–2002 установлены следующие основные виды национальных стандартов:

- основополагающие;
- на продукцию и услуги;
- на работы (процессы);
- на методы контроля (испытаний, измерений, анализа).

Основополагающие стандарты устанавливают общие организационно-технические положения для определенной области деятельности, а также общетехнические требования, нормы и правила, обеспечивающие взаимопонимание, техническое единство и взаимосвязь различных областей науки, техники и производства в процессах создания и использования продукции, охрану окружающей среды, безопасность продук-



ции, процессов и услуг для жизни, здоровья, имущества и другие общетехнические требования.

Стандарты на продукцию и услуги устанавливают требования к группам однородной продукции и услуг или к конкретной продукции и услуге.

Стандарты на работы (процессы) устанавливают основные требования к методам (способам, приемам, режимам, нормам) выполнения различного рода работ в технологических процессах разработки, изготовления, хранения, транспортирования, эксплуатации, ремонта и утилизации различных видов продукции.

Стандарты на методы контроля устанавливают методы (способы, приемы, методики и др.) проведения испытаний, измерений, анализа продукции при ее создании, сертификации и использовании.

В области стандартизации применяют:

- правила стандартизации;
- нормы;
- рекомендации;
- методические положения;
- описательные положения.

Эти документы предназначены для установки правил, принципов, норм, относящихся к деятельности по стандартизации, организации работ по стандартизации, разработке, пересмотру и отмене стандартов, их структуре, этапности разработки, правилам изложения и оформления.

Правила по стандартизации, метрологии, сертификации и аккредитации являются НД, устанавливающими обязательные для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки, методы выполнения работ в соответствующих областях.

Методическое положение — методика и способ осуществления процесса, той или иной операции, с помощью чего можно достигнуть соответствия требованиям нормативного докумен-

та. Нормативный документ, содержащий подобное положение, можно назвать методическим стандартом.

Описательное положение содержит описание конструкции, деталей конструкции, состава исходных материалов, размеров деталей и частей изделия (конструкции). Кроме того, НД может содержать и эксплуатационные положения, которые описывают «поведение» объекта стандартизации при его применении (эксплуатации). В большинстве стран организация работ по стандартизации построена по похожим схемам. Отличие обычно заключается в степени централизации разработки стандартов и уровне участия в ней коммерческих и общественных организаций. Во многих странах требования стандартов регламентируются не для производимой, а для потребляемой продукции на территории данного государства.

Общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации — это НД, распределяющие технико-экономическую и социальную информацию в соответствии с ее классификацией. Они являются обязательными для применения при создании государственных информационных систем и информационных ресурсов. Порядок разработки, принятия, введения в действие и применения общероссийских классификаторов устанавливает Правительство РФ.

Стандарты организаций, в отличие от национальных стандартов, дополнительно имеют свои специфические цели; для совершенствования производства и обеспечения качества продукции, выполнения работ, оказания услуг; для распространения и использования полученных в различных областях знаний результатов исследований, измерений и разработок.

### **6.2.3. МЕЖДУНАРОДНЫЕ И НАЦИОНАЛЬНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ**

На международном уровне вопросами стандартизации занимаются несколько организаций.

Наиболее представительной является международная организация по стандартизации (ИСО). ИСО функционирует с 1947 г. и включает в свой состав более 140 государств. Органами ИСО являются Генеральная ассамблея, Совет, комитеты Совета, технические комитеты, Центральный секретариат. Высшим органом ИСО является Генеральная ассамблея, а в период между ее сессиями работой организации руководит Совет.

Методическую и информационную помощь Совету по принципам и методике разработки международных стандартов оказывает СТАКО (Комитет по изучению научных принципов стандартизации).

Проекты международных стандартов разрабатываются рабочими группами технических комитетов. Статус участия в работе технических комитетов каждый член ИСО определяет самостоятельно, в зависимости от степени заинтересованности. Разработанные и одобренные большинством активных членов организации стандарты и рекомендации формально не являются обязательными нормативными документами, однако фактически соблюдаются и используются на практике по мере возникающих потребностей.

Среди других международных организаций, занимающихся разработкой международных стандартов, наиболее представительными являются Международная электротехническая комиссия (МЭК), Международный союз электросвязи (МСЭ), Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), Европейская организация по контролю качества (ЕОКК) и др.

В РФ орган, уполномоченный на исполнение функций национального органа по стандартизации, определяет Правительство РФ. Таким органом является Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, подве-

домственное Министерству промышленности и энергетики России.

Основные функции национального органа России по стандартизации:

- утверждение национальных стандартов;
- принятие программы разработки национальных стандартов;
- организация экспертиз проектов национальных стандартов;
- обеспечение соответствия национальной системы стандартизации интересам национальной экономики, состоянию материально-технической базы и научно-техническому прогрессу;
- осуществление учета национальных стандартов, правил стандартизации, норм и рекомендаций в этой области и обеспечения их доступности заинтересованным лицам;
- создание технических комитетов по стандартизации и координация их деятельности;
- организация опубликования национальных стандартов и их распространение;
- участие в соответствии с уставами международных организаций в разработке международных стандартов и обеспечение интересов РФ при их принятии;
- утверждение изображения знака соответствия национальным стандартам;
- представление России в международных организациях, осуществляющих деятельность в области стандартизации.

Для проведения работ по стандартизации на национальном и отраслевом уровнях, а также на предприятиях создают специальные организации и подразделения (службы стандартизации).

Порядок создания и деятельности технических комитетов по стандартизации утверждается национальным органом по

стандартизации. В состав технических комитетов по стандартизации на паритетной и добровольной основе могут включаться представители федеральных органов исполнительной власти, научных организаций, саморегулируемых организаций, общественных объединений предпринимателей и потребителей. Заседания Технических комитетов по стандартизации являются открытыми.

Координация работ по стандартизации в отраслях народного хозяйства в необходимых случаях осуществляется через подразделения (службы) стандартизации министерств и других органов государственного управления, а также через головные организации по стандартизации, имеющие высокий научно-технический потенциал в соответствующих областях науки и техники.

На предприятиях при необходимости создают службы стандартизации (отделы, бюро, лаборатории), которые выполняют необходимые работы по стандартизации.

### 6.3. ОСНОВЫ СЕРТИФИКАЦИИ

Слово «сертификат» в переводе с латинского означает «сделано верно». В законе «О техническом регулировании» дается следующее определение сертификации.

Сертификация — это форма осуществления органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

К объектам сертификации относятся: продукция, услуги, работы, системы качества, рабочие места и пр.

В сертификации продукции, услуг и иных объектов участвуют три стороны:

- первая сторона представляет интересы производителей (поставщиков);

- вторая сторона представляет интересы покупателей;
- третья сторона — независимое от участвующих сторон лицо (орган).

В процессе сертификации можно выделить пять основных этапов:

- заявка на сертификацию;
- оценка соответствия объекта установленным требованиям;
- анализ результатов оценки соответствия;
- решение по сертификации;
- инспекционный контроль за сертифицированным объектом.

Подтверждение соответствия — это документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Основные цели подтверждений соответствия:

- удостоверение соответствия продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов техническим регламентам, стандартам, условиям договоров;
- содействие приобретателям в компетентном выборе продукции, работ, услуг;
- повышение конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;
- создание условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории РФ, а также для осуществления международного экономического, научно-технического сотрудничества и международной торговли.

Подтверждение соответствия осуществляется на основе следующих принципов:

- доступности информации о порядке осуществления подтверждения соответствия заинтересованным лицам;
- недопустимости применения обязательного подтверждения соответствия к объектам, в отношении которых не установлены требования технических регламентов;
- установления перечня форм и схем обязательного подтверждения соответствия в отношении определенных видов продукции в соответствующем техническом регламенте;
- уменьшения сроков осуществления обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя;
- недопустимости принуждения к осуществлению добровольного подтверждения соответствия, в том числе в определенной системе добровольной сертификации;
- защиты имущественных интересов заявителей, соблюдения коммерческой тайны в отношении сведений, полученных при осуществлении подтверждения соответствия;
- недопустимости подмены обязательного подтверждения соответствия добровольной сертификацией.

Закон РФ «О техническом регулировании» устанавливает, что подтверждение соответствия разрабатывается и применяется равным образом и в равной мере независимо от страны и места происхождения продукции, то есть всем отечественным изготовителям и импортерам гарантируются равные условия и ко всем предъявляются равные требования.

Подтверждение соответствия на территории РФ может носить добровольный или обязательный характер.

Добровольное подтверждение соответствия осуществляется в форме добровольной сертификации. Под сертификацией здесь понимается форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Объектом добровольного подтверждения соответствия являются объекты, в отношении которых стандартами, система-

ми добровольной сертификации и договорами устанавливаются требования.

Добровольная сертификация продукции, подлежащей обязательной сертификации, не может заменить обязательную сертификацию такой продукции.

Объекты сертификации, сертифицированные в системе добровольной сертификации, могут маркироваться знаком соответствия системы добровольной сертификации.

Знак соответствия — обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту. Порядок применения такого знака соответствия устанавливается правилами соответствующей системы добровольной сертификации.

Добровольная сертификация осуществляется органом по сертификации в рамках системы сертификации.

Система сертификации — это совокупность правил выполнения работ по сертификации ее участников.

Система добровольной сертификации может быть создана юридическим лицом и (или) индивидуальным предпринимателем. Она может быть зарегистрирована федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию после представления в орган исполнительной власти документов, предусмотренных законом «О техническом регулировании».

Орган по сертификации — это юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации. На орган по сертификации возложены следующие функции:

- осуществлять подтверждение соответствия объектов добровольного подтверждения соответствия;
- выдавать сертификаты соответствия на объекты, прошедшие добровольную сертификацию;



— предоставлять заявителям право на применение знака соответствия, если применение знака соответствия предусмотрено соответствующей системой добровольной сертификации;

— приостанавливать или прекращать действие выданных им сертификатов соответствия.

Федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию ведет единый реестр зарегистрированных систем добровольной сертификации. Сведения, содержащиеся в реестре, должны быть доступны всем заинтересованным лицам.

Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом, и только на соответствие требованиям технического регламента. Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть только продукция, выпускаемая в обращение на территории РФ.

Обязательная сертификация является формой государственного контроля над безопасностью продукции.

Участниками системы обязательной сертификации являются:

- изготовители продукции (услуг);
- потребители продукции (услуг);
- орган по сертификации; испытательные лаборатории (центры).

Обязательное подтверждение соответствия осуществляется в двух формах:

- в форме принятия декларации о соответствии;
- в форме обязательной сертификации.

Декларация соответствия и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу.

Декларирование соответствия возможно по одной из следующих двух схем.

1. Принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств.

2. Принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств и доказательств, полученных с участием третьей стороны. Третьей стороной могут быть орган по сертификации или аккредитованная испытательная лаборатория. Декларирование соответствия с участием третьей стороны устанавливается в техническом регламенте в случае, если отсутствие третьей стороны не приводит к достижению целей соответствия.

При использовании первой схемы декларирования соответствия заявитель формирует доказательные материалы самостоятельно. Состав доказательных материалов определяется соответствующим техническим регламентом. Такими материалами могут быть техническая документация, результаты собственных исследований и измерений и другие документы.

При использовании второй схемы декларирования соответствия заявитель по своему усмотрению в дополнение к собственным доказательствам добавляет результаты исследований, проведенных в испытательной лаборатории, или сертификат соответствия качества при условии, что заявителем проведена такая сертификация.

Для регистрации декларации о соответствии заявитель представляет в орган исполнительной власти по техническому регулированию оформленную в соответствии с установленными требованиями декларацию соответствия, которая им регистрируется в реестре деклараций о соответствии.

Обязательная сертификация осуществляется органом по сертификации на основании договора с заявителем по схемам, предусмотренным техническими регламентами.

Обязательную сертификацию могут проводить только государственные органы управления или аккредитуемые ими организации, и она проводится по требованиям, установленным федеральными законами — техническими регламентами.

Сведения, отражаемые в сертификате соответствия, права и обязанности органа по сертификации определены в законе «О техническом регулировании».

Орган по сертификации имеет право привлекать к проведению исследований аккредитованные испытательные лаборатории, проводить инспекционный контроль, приостанавливать или прекращать действие выданного сертификата соответствия, устанавливать стоимость работ по сертификации.

Основные обязанности органа по сертификации:

- вести реестр выданных им сертификатов соответствия;
- представлять данные о выданных сертификатах в федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию для составления единого реестра;
- информировать соответствующие органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов о продукции, поступившей на сертификацию, но не прошедшей ее;
- представлять заявителям информацию о порядке проведения обязательной сертификации.

## СЕРТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДСТВ

Системы менеджмента качества и производств могут действовать организациям в повышении удовлетворенности потребителей. Потребителям необходима продукция, характеристики которой удовлетворяют их потребностям и ожиданиям. Эти потребности и ожидания, как правило, отражаются в спецификации на продукцию и обычно считаются требованиями потребителей. Требования могут быть установлены потребителем в контракте или определены самой организацией. В любом случае приемлемость продукции, в конечном счете, устанавливает потребитель. Поскольку потребности и ожидания потребителей меняются, а организации помимо этого ис-

пытывают давление, обусловленное конкуренцией и техническим прогрессом, они должны постоянно совершенствовать свою продукцию и свои процессы. Внедрение систем менеджмента качества и производств побуждает организации анализировать требования потребителей, определять процессы, способствующие созданию продукции, приемлемой для потребителей, а также поддерживать эти процессы в управляемом состоянии. Система менеджмента качества и производств может быть основой постоянного улучшения с целью увеличения повышения удовлетворенности, как потребителей, так и других заинтересованных сторон. Внедрение данной системы обеспечивает организацию и потребителей уверенностью в ее способности поставлять продукцию, полностью соответствующую требованиям.

В настоящее время в РФ действует и зарегистрирована в Государственном реестре система сертификации систем качества и производств, получившая краткое название «Регистр систем качества». Этот регистр представляет собой систему сертификации, построенную в соответствии с действующим законодательством РФ, правилами по сертификации, национальными стандартами (ГОСТ Р ИСО 9001–2011 «Системы менеджмента качества. Требования»), а также международными и европейскими правилами и процедурами (международными стандартами ИСО серии 14000, серии 9000 и др.)

В рамках системы сертификации систем качества и производств осуществляются:

- сертификация систем качества;
- сертификация производств;
- инспекционный контроль за сертифицированными системами качества и производствами;
- международное сотрудничество в области сертификации систем качества в интересах взаимного признания ее результатов.

Подход к разработке и внедрению системы менеджмента качества и производств состоит из нескольких ступеней, включающих:

- установление потребностей и ожиданий потребителей и других заинтересованных сторон;
- разработку политики и целей организации в области качества;
- установление процессов и ответственности, необходимых для достижения целей в области качества;
- установление и определение необходимых ресурсов и обеспечение ими для достижения целей в области качества;
- разработку методов для измерения результативности и эффективности каждого процесса;
- применение данных этих измерений для определения результативности и эффективности каждого процесса;
- определение средств, необходимых для предупреждения несоответствий и устранения их причин;
- разработку и применение процесса для постоянного улучшения системы менеджмента качества.

Такой подход также применяется для поддержания в рабочем состоянии и улучшения имеющейся системы менеджмента качества. Организация, принимающая указанный выше подход, создает уверенность в возможностях своих процессов и качестве своей продукции, а также обеспечивает основу для постоянного улучшения.

Сертификация систем менеджмента качества осуществляется в несколько этапов, включающих заочную, или предварительную, оценку системы предприятия и сертификационный аудит (проверка). После прохождения сертификации на протяжении срока действия сертификата аккредитованный орган осуществляет инспекционный контроль за сертифицированной системой менеджмента качества. Таким образом, сертификация системы менеджмента качества основана на регуляр-

ном проведении третьей стороной (органом по сертификации) независимых аудитов.

Аудиты применяют для определения степени выполнения требований к системе менеджмента качества. Наблюдения аудитов используют для оценки эффективности системы менеджмента качества и определения возможностей для улучшения. Аудиты, проводимые первой стороной (самой организацией) или от ее имени для внутренних целей, могут служить основой для декларирования организацией о своем соответствии.

Аудиты, проводимые второй стороной, могут проводиться потребителями организации или другими лицами от имени потребителей. Аудиты, проводимые третьей стороной, осуществляются внешними независимыми организациями. Такие организации, обычно имеющие аккредитацию, проводят сертификацию на соответствие требованиям, например требованиям ГОСТ Р ИСО 9001—2011 «Системы менеджмента качества. Требования».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

---

1. Рабинович С. Г. Погрешности измерений / С. Г. Рабинович. Л. : Энергия, 1978. 262 с.
2. Смирнов Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, Н. В. Дунин-Барковский. М. : Наука, 1965. 512 с.
3. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах : учебник для вузов / под ред. В. И. Нефедова. М. : Высшая школа, 2005. 599 с.
4. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах : учебное пособие / под ред. Б. Н. Тихонова. М. : Горячая линия — Телеком, 2007. 374 с.
5. Оценка качества электроизмерительных приборов / Л. Г. Тульгин и др. Л. : Энергия, 1982. 216 с.
6. Литвак Б. Г. Экспертная информация : методы получения и анализа / Б. Г. Литвак. М. : Радио и связь, 2000. 184 с.
7. Шишкин И. Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством / И. Ф. Шишкин. М. : Изд-во стандартов, 1990.
8. Метрологическое обеспечение систем передачи / Б. П. Хромой и др. М. : Радио и связь, 1991. 392 с.
9. Управление качеством электронных средств / О. П. Глудкин, А. И. Гуров, А. И. Коробов и др. М. : Высшая школа, 1994.
10. Всеобщее управление качеством / О. П. Глудкин, А. И. Гуров, Н. М. Горбунов, Ю. В. Зорин. М. : Радио и связь, 1999. 600 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
Глава 1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ .....	6
1.1. Общие сведения .....	6
1.2. Физические величины и их измерения.....	9
1.2.1. Физические величины .....	9
1.2.2. Международная система единиц .....	14
1.3. Характеристики, виды, методы и методики измерений.....	19
1.3.1. Основные характеристики измерений .....	20
1.3.2. Шкалы измерений.....	24
1.3.3. Виды измерений .....	27
1.3.4. Методы измерений.....	29
1.3.5. Методики измерений .....	32
1.4. Средства измерений.....	34
1.4.1. Элементарные средства измерений.....	36
1.4.2. Комплексные средства измерений .....	38
1.5. Воспроизведение и передача размеров единиц физических величин .....	44
Эталоны.....	46
1.6. Особенности измерений в телекоммуникационных системах.....	49



---

Глава 2. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ .....	53
2.1. Общие сведения .....	53
2.2. Погрешности измерений .....	55
2.3. Погрешности средств измерений .....	60
2.3.1. Нормирование погрешностей средств измерений .....	65
2.3.2. Энтропийная оценка погрешности средств измерений .....	69
Глава 3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ .....	72
3.1. Устранение систематических погрешностей .....	73
3.2. Аналитическое представление и оценка случайных погрешностей .....	77
3.3. Устранение грубых погрешностей .....	86
3.4. Обработка результатов прямых однократных измерений .....	88
3.4.1. Оценка погрешностей результатов прямых однократных измерений .....	89
3.4.2. Определение инструментальной погрешности измерений по нормируемым метрологическим характеристикам средств измерений .....	94
3.4.3. Определение инструментальной погрешности по классу точности средств измерений .....	96
3.5. Обработка результатов прямых многократных измерений .....	99
3.6. Обработка результатов косвенных измерений .....	106
Глава 4. ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	113
4.1. Законодательство РФ об обеспечении единства измерений .....	113

4.2. Национальная система обеспечения единства измерений .....	117
4.3. Виды метрологической деятельности по обеспечению единства измерений .....	124
4.3.1. Оценка соответствия средств измерений .....	124
4.3.2. Утверждение типа средств измерений.....	126
4.3.3. Аттестация методик выполнения измерений.....	127
4.3.4. Поверка и калибровка средств измерений.....	128
 Глава 5. ОЦЕНИВАНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ .....	133
5.1. Основные понятия, используемые в квалиметрии .....	134
5.2. Методы определения показателей и оценивания уровня качества продукции.....	139
5.3. Оценивание и поддержание качества продукции на стадии ее эксплуатации.....	151
5.3.1. Линейно-верная модель .....	163
5.3.2. Линейно-равномерная модель.....	165
5.3.3. Линейная модель с двумя случайными коэффициентами .....	166
 Глава 6. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ .....	170
6.1. Принципы технического регулирования.....	170
6.2. Основы стандартизации .....	175
6.2.1. Цели, принципы и методы стандартизации.....	177
6.2.2. Нормативные документы по стандартизации .....	180

6.2.3. Международные и национальные организации по стандартизации .....	185
6.3. Основы сертификации .....	188
Сертификация систем качества и производств .....	194
 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	 198

*Учебное издание*

**Аминев** Александр Валерьевич

**Блохин** Анатолий Васильевич

МЕТРОЛОГИЯ,  
СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ  
В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Редактор *В. О. Корионова*

Компьютерный набор *А. В. Аминова*

Верстка *Е. В. Ровнушкиной*

Подписано в печать 22.12.2015. Формат 60×84 1/16.  
Бумага писчая. Плоская печать. Гарнитура Newton.  
Усл. печ. л. 11,9. Уч.-изд. л. 10,0. Тираж 50 экз. Заказ 7.

Издательство Уральского университета  
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ  
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5  
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41  
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел.: 8 (343) 350-56-64, 350-90-13  
Факс: 8 (343) 358-93-06  
E-mail: press-urfu@mail.ru

